西北干旱区 10 种荒漠植物地理分布与大气候的关系及其可能潜在分布区的估测

蒋霞 倪健*

(中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

摘要 选择面积广阔、地理位置特殊、气候干旱、地形地貌多样、生态系统脆弱以及人类活动长期干扰, 而且目前面临着西部大开发和环境保护双重矛盾的西北干旱区作为研究区域, 通过收集西北干旱区多种优势种和常见种的地理分布资料, 选取 10 种分布范围相对明确、资料相对齐备的荒漠植物种: 短叶假木贼(*Anabasis brevifolia*)、木蓼(*Atraphaxis frutescens*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)、裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)、梭梭柴(*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、尖叶盐爪爪(*Kalidium cuspidatum*)、松叶猪毛菜(*Salsola laricifolia*)和合头草(*Sympegma regelii*), 定量分析其地理分布与气候因子的关系, 并据此估测其潜在中心分布区和潜在最大分布范围, 与实际分布范围进行比较。结果表明, 10 种荒漠植物的 Holdridge 生物温度、降水量和可能蒸散率的平均值、标准差、最大值和最小值比较准确地反映了我国荒漠地区的典型气候特征, 说明植物种分布与气候的定量对应关系较好。其可能潜在分布的估测中, 中心分布估测图与植物种的实际分布范围有较好的对应性, 而在最大可能分布的估测图中, 与实际有一定误差及存在一些不合理的地方, 但种与种之间有差异。究其原因, 首先在于目前所拥有的植物种分布和气象资料的限制, 而且植物种的实际分布范围受到人为活动的影响较大, 所以无法完全把握植物种与气候的准确定量关系; 其次, 气候极值所预测的只是植物种分布的最大可能性, 而不能表现出植物种现实分布的主要地区, 气候均值与标准差所反映的中心分布区, 其准确性更可靠; 再者, 模拟预测仅考虑了植物种与大气候的关系, 而没有考虑决定植物分布的其它环境因素, 如土壤、基质、地形等地理因素。

关键词 西北干旱区 荒漠植物种 地理分布 气候 可能潜在分布区

SPECIES-CLIMATE RELATIONSHIPS OF 10 DESERT PLANT SPECIES AND THEIR ESTIMATED POTENTIAL DISTRIBUTION RANGE IN THE ARID LANDS OF NORTHWESTERN CHINA

JIANG Xia and NI Jian*

(Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract We choose the arid land of northwestern China as our study area because of its extensive area, specific geographical location, dry climate, varied topography, vulnerable ecosystems and long-term human disturbance, as well as the existence of current conflicts between economic development and environmental protection. Based on the literature, we choose ten desert species with clear and relatively accurate geographical distribution ranges to model their distributions: *Anabasis brevifolia*, *Atraphaxis frutescens*, *Calligonum mongolicum*, *Ephedra przewalskii*, *Gymnocarpus przewalskii*, *Haloxylon ammodendron*, *Haloxylon persicum*, *Kalidium cuspidatum*, *Salsola laricifolia*, and *Sympegma regelii*. The quantitative relationship between each species distribution range and climatic factors was analyzed. The central and maximum potential distribution ranges of the 10 species were estimated and compared to their actual geographical distributions. Results showed that the mean value, standard deviation, maximum and minimum Holdridge's annual biotemperature, annual precipitation and potential evapotranspiration ratio of the 10 desert species reflected typical characteristics of desert climates and were in good agreement. The calculated central distribution ranges were in good agreement with a species' actual distribution range, but there were differences among a species's maximum potential distribution and actual distribution due to three major factors: 1) The uncertainties associated with a species current distribution and lack of accurate climate data restricted the accuracy of the species-climate relationships and human impacts have altered the actual distributions of these desert species; 2) The maximum potential dis-

收稿日期: 2003-12-22 接受日期: 2004-08-07

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043507)、国家自然科学基金重点项目(90102009)和中国科学院知识创新重大项目(KZCX1-10-05)

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: jni@ibcas.ac.cn

tribution area was estimated using the maximum and minimum climate values of species, which is less accurate than the potential central distribution range estimated by the mean climate and standard deviation; and, 3) The estimated potential range was calculated based on species-climate relationships only. Other environmental factors, such as soil, geology and topography, which also influence species distributions, were not considered.

Key words Arid lands, Northwestern China, Climate, Desert plant species, Geographical range, Potential distribution range

植被-气候关系一直是植物生态学的一个经典研究内容,也是最近 20 年来全球变化和全球生态学的一个重要研究方向。而从植物种的水平研究植被与大气候的关系,又是生态学家比较关注的一个方面。

国际上对植物种与气候的关系研究已久,经典的和最著名的工作包括: Köppen(1936)的经验植被-气候分类方案, Holdridge(1947, 1967)的生命地带分类系统, Kira 的温暖指数、寒冷指数和干湿指数(Kira, 1976, 1977)及其在日本(Kira, 1991)、朝鲜半岛(Yim, 1977)和中国(洪必恭和李绍珠, 1981; 徐文铎, 1983)多种树种与气候关系研究上的应用, Box(1981)的决定植物型分布的 8 个生物气候变量及其植被-气候分类体系(Box, 1995), Woodward(1987)、Woodward 和 Williams(1987)在全球尺度上对植物分布和气候关系,尤其是极端气候对植物种分布限定性分析,以及从生理生态学角度来限定植物分布的经典研究,后来被应用到全球生物地理模型的建立和发展以及全球植被格局的模拟,如 BIOME1 模型(Prentice *et al.*, 1992),已经成为评价气候变化对陆地生态系统潜在影响的通用手段。

随着知识的积累,从 20 世纪末期开始,更多的研究涉及到基于植物种与气候关系的植物种潜在分布区的估测上,多种统计模型和机理模型得到了应用,代表性的工作如 Hill(1991)、Sykes 等(1996)、Gottfried 等(1999)、Gignac 等(2000)、Hoffmann(2000)、Chuine 和 Beaubien(2001)、McKenzie 等(2003)、Robertson 等(2003)和 Thuiller(2003)。其中值得一提的是, Sykes 等(1996)基于限制植物生长和繁殖的生理生态因子发展了一个生物气候模型(STASH)来模拟现状和未来北欧主要树种的分布,模型所涉及到的气候指数能够有效地帮助我们模拟现状和未来气候条件下树种的潜在分布,以及瞬时的森林动态变化(Sykes, 1996; Sykes & Prentice, 1996); Gottfried 等(1999)利用一个空间明晰的高山植物种预测模型,配合高精度的数字高程模型(DEM),模拟了欧洲阿尔卑斯山高山植物在气候变暖情况下的分布范围,发现冰雪带植物将缩小分布范围并局限在某些

特殊地形里,而高山和亚冰雪带草原植物将扩展其分布范围; Thuiller(2003)利用 4 种预测植物种分布常用的模拟方法综合成为一个 BIOMOD 生物多样性模拟模型,模拟欧洲 61 个树种的现状分布及其全球变化下的未来迁移趋势,实测和模拟的分布范围具有较好的对应性,但各模型之间有相对差异,树种之间也存在差异。

中国植被-气候关系的研究有着很长的历史,尤其是在全球变化研究的大背景下,利用不同的气候指标,在 20 世纪 80 到 90 年代建立了很好的中国植被大尺度格局与大气候的关系。在此同时,植物种地理分布与大气候(多种不同的气候指标)的关系研究也得到长足发展。代表性的工作如:东北地区植物种与水热条件的关系(徐文铎, 1983),江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量的关系(洪必恭和李绍珠, 1981),中国水青冈属(*Fagus*)植物地理分布与多种气候指标的关系(洪必恭和安树青, 1993),“三北”防护林地区主要树种的分布与水热条件的关系(王效瑞等, 1986), 73 种木本植物与温度分布的关系(Fang & Yoda, 1990),以及我国亚热带常绿阔叶林优势种和常见种分布与多种气候指标的关系(倪健和宋永昌, 1997, 1998a, 1998b)。从 20 世纪 90 年代后期开始,众多的研究集中在植物种与气候更加精细的关系研究上,从而避免了大尺度多种植物研究中存在的较粗糙现象,其中代表性的工作如:中国 5 种水青冈属树种的地理分布和气候范围(Cao *et al.*, 1995),榛属(*Corylus*)内种的分布与气候因子的关系(纪国峰和戚继忠, 1997),栗属(*Castanea*)的地理分布及其空间特征分析(刘国华和方精云, 2001),以及云杉(*Abies*)、冷杉(*Picea*)和落叶松(*Larix*)属植物种空间分布及其变化(刘增力等, 2002)。

然而,过去对植物种-气候的相关性研究,大多集中在现状条件下植物种的分布与气候的关系,以及未来气候条件下植物种发展趋势的少数研究上,而对于现状气候条件下植物种潜在分布的估测研究则较少报道。因此,在研究现状气候条件下植物种-气候相关性的同时,反推植物种的潜在地理分布区域,也是非常必要的。而从地域看来,我国以前植

物种-气候相关性的研究,主要集中在东部的森林地区,或者是大尺度上对全国植被进行气候分类,对于广大的西部尤其是西北干旱区,其物种的分布及与气候的关系则研究较少。

物种(包括植物和动物)分布与大气候关系的研究及其模拟和预测,不仅对当今全球变化与环境问题的研究有重要理论意义,也对物种和生物多样性保育与评价具有重大实践意义(Huang *et al.*, 2002; Anderson & Martinez-Meyer, 2004)。因此,我们选择面积广阔、地理位置特殊、气候干旱、地形地貌多样、生态系统脆弱以及人类活动长期干扰,而且目前面临着西部大开发和环境保护双重矛盾的西北干旱区作为研究区域,在定量分析了多种优势种和常见种分布与气候关系的基础上,选择 10 种地理分布范围相对清楚、有代表性的荒漠植物作为研究对象,重点分析其地理分布与几个气候变量的关系,并在此基础上反推其可能的潜在分布范围,以便为这一特殊地区的环境保护、经济发展、资源可持续利用等提供背景资料。

1 材料和方法

1.1 植物种分布资料

利用《新疆植物志》(新疆植物志编辑委员会, 1993~1996)、《宁夏植物志》(马德滋和刘慧兰, 1986~1990)、《中国沙漠植物志》(中国科学院兰州沙漠研究所, 1985~1992)、《青海植物志》(青海植物志编辑委员会, 1999)、《内蒙古植物志》(内蒙古植物志编辑委员会, 1989~1998)和《中国植物志》各卷(中国植物志编辑委员会, 1959~2000)的记载,收集中国西北干旱区优势种及常见种的分布资料,从中筛选出 10 种资料相对较全、地理分布相对较明确的荒漠植物种:短叶假木贼(*Anabasis brevifolia*)、木蓼(*Atraphaxis frutescens*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)、裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)、梭梭柴(*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、尖叶盐爪爪(*Kalidium cuspidatum*)、松叶猪毛菜(*Salsola laricifolia*)和合头草(*Sympagma regelii*),作为本文的研究对象。从植物志查到的植物种分布地点或地区,按照《中国地名录》(国家测绘局地名研究所, 1994)所记载的经纬度坐标,可确定其地理分布范围。

1.2 气象资料

气象数据取自国家气象局 841 个气象台站 1951~1980 年的平均记录,通过地理参照的插值,获得

10 分网格点上的气象数据(Ni *et al.*, 2000),指标包括经度、纬度、海拔高度、各月平均气温及降水量。植物种分布点的气象数据即为与该点地理坐标最相近的网格点上的插值数据。

1.3 气候指标的计算方法

采用 Holdridge (1947, 1967)生命地带分类系统的生物温度(Biotemperature, *BT*)、降水(Precipitation, *P*)、可能蒸散(Potential evapotranspiration, *PET*)与可能蒸散率(Potential evapotranspiration ratio, *PER*),作为定量研究植物种与气候关系的气候指标。

生物温度(*BT*)为植物出现营养生长范围内的平均温度,介于 0~30 ℃之间,其计算公式为 $BT = \sum T/12$,其中 *T* 为 0~30 ℃之间的月均温,低于 0 ℃的均按 0 计算,超过 30 ℃的均按 30 ℃计算,由于我国没有超过 30 ℃的月平均气温,因此 *BT* 实际上是大于 0 ℃的年平均温度。可能蒸散(*PET*)是生物温度的函数, $PET = BT \times 58.93$,而可能蒸散率(*PER*)则是 *PET* 与年降水(*P*)的比率, $PER = PET/P$ 。

1.4 植物种可能潜在分布区的模拟方法

根据所得出的植物种地理分布与气候的定量关系,亦即植物种分布所对应的气候指标的平均值和范围,利用 10 分网格点上的气象数据,可以从理论上反推植物种的可能潜在分布范围,即从植物种实际的点状分布预测其面上的分布区。这两种可能性,一是植物种的最大分布范围,可以植物种所对应的降水和生物温度的最大值和最小值来限定,由此可绘制该种植物在理论上的可能潜在分布区;另一可能性是植物种的中心分布范围,可以植物种所对应的降水和生物温度的平均值及其标准差来估测,以绘制出其中心分布区。

2 结果分析

2.1 10 种荒漠植物与气候的定量关系

10 种荒漠植物在我国西北干旱区的地理分布范围见图 1,其所对应的年均生物温度、年降水量和可能蒸散率的平均值、标准差、最大值和最小值见表 1。可以看出,10 种荒漠植物的年均生物温度介于 8.5~10.5 ℃之间,集中在 9 ℃左右,变化幅度却较宽,在 3~15 ℃之间;年均降水量在 110~240 mm 之间,其均值的变率和极值的变率都很大,说明降水的变异性大于生物温度;由此产生的年均可能蒸散率在 2.5~35 之间,变异性也很大。以上荒漠植物种所反映的气候,符合我国荒漠地区的典型气候特征,

图 1 西北干旱区 10 种荒漠植物的实际分布范围

Fig.1 Actual distribution ranges of 10 desert plant species in the arid land, northwestern China

自左至右 10 种植物为 短叶假木贼 (*Anabasis brevifolia*)、木蓼 (*Atraphaxis frutescens*)、沙拐枣 (*Calligonum mongolicum*)、膜果麻黄 (*Ephedra przewalskii*)、裸果木 (*Gymnocarpos przewalskii*)、梭梭柴 (*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭 (*Haloxylon persicum*)、尖叶盐爪爪 (*Kalidium cuspidatum*)、松叶猪毛菜 (*Salsola laricifolia*) 和合头草 (*Sympegma regelii*)

说明这 10 种荒漠植物的地理分布基本上反映了荒漠地区的气候状况，荒漠植物种与荒漠气候的定量对应关系较好。

2.2 10 种荒漠植物的可能潜在分布预测

根据 10 种植物所对应的气候变量的平均值和标准差，我们反推出其可能潜在分布中心(图2左

表 1 西北干旱区 10 种荒漠植物所对应的气候指标
Table 1 Climatic indexes of 10 desert plant species in the arid land, northwestern China

荒漠植物种 Desert species	年均生物温度				年均降水量				年均可能蒸散率			
	Annual mean biotemperature (℃)				Mean annual precipitation (mm)				Annual mean evapotranspiration ratio			
	平均值 Mean	标准偏差 Standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	标准偏差 Standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	标准偏差 Standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
短叶假木贼 <i>Anabasis brevifolia</i>	9.27	2.37	14.59	5.05	183.48	93.03	357	20	6.47	10.05	42.99	1.08
木蓼 <i>Atraphaxis frutescens</i>	8.65	1.49	10.84	5.39	233.40	101.09	417	88	2.77	1.59	6.56	0.76
沙拐枣 <i>Calligonum mongolicum</i>	9.71	1.83	12.83	7.63	157.85	97.42	359	2	34.91	103.50	378.13	1.28
膜果麻黄 <i>Ephedra przewalskii</i>	9.85	2.22	14.25	4.54	145.40	94.21	383	21	8.06	9.17	33.12	1.28
裸果木 <i>Gymnocarpus przewalskii</i>	10.46	1.94	12.68	5.49	111.64	55.11	236	21	8.13	7.74	32.79	2.14
梭梭柴 <i>Haloxylon ammodendron</i>	9.73	2.00	14.25	5.09	164.18	91.52	508	21	5.55	6.27	32.79	0.59
白梭梭 <i>Haloxylon persicum</i>	9.55	1.43	10.92	6.73	160.73	36.62	218	117	3.70	1.05	4.91	1.82
尖叶盐爪爪 <i>Kalidium cuspidatum</i>	9.05	1.51	11.99	5.49	241.03	91.29	427	84	2.67	1.51	8.41	1.04
松叶猪毛菜 <i>Salsola laricifolia</i>	8.83	1.39	11.04	6.93	228.43	87.14	383	95	2.77	1.53	6.85	1.21
合头草 <i>Sympegma regelii</i>	9.32	2.76	14.59	3.15	112.94	132.72	459	20	8.38	10.11	42.99	0.40

栏),而利用其气候变量的极值,我们估测出其可能潜在分布的最大范围(图 2 右栏)。比较 10 种荒漠植物的实际分布区(图 1)、可能潜在的中心分布区和最大分布区(图 2),我们可以看出:短叶假木贼主要分布在新疆、内蒙古、宁夏和甘肃一带,由于甘肃的植物分布资料缺乏,在实际分布区中没有反映出来,但在估测的潜在分布区中得到了反映;然而,中心分布区和最大分布区存在较大差异,中心分布区主要在北疆、东疆和内蒙古中部分布,而最大可能分布区不仅延伸到南疆一带,还扩展到内蒙古全区直至与东北相连的部分;因此,短叶假木贼中心分布区的估测图较好地符合其实际分布范围,而最大分布区则过于广阔。木蓼的实际分布区仅局限在新疆和内蒙古地区,其中心分布区和实际分布区相对一致,而其最大可能分布区扩展到西藏和东北地区,与实际分布相差较大。沙拐枣实际的地理分布涵盖新疆、内蒙古、青海、甘肃、宁夏等地,是亚洲中部荒漠的广布种;其估测的中心分布区和最大可能分布区与实际分布区基本保持一致。膜果麻黄实际分布于新疆、甘肃、宁夏、内蒙古和青海,其实际分布区与中心分布区在界限上大体相当,但中心分布区没有体

现出在青海柴达木盆地的分布,最大可能分布区虽弥补了这一缺陷,但它的分布范围却延伸到了西藏及东北一带,与实际分布不相符合。裸果木可见于我国宁夏、甘肃、青海、内蒙古和新疆,其实际分布和潜在分布都位于这一区域内。梭梭柴的实际分布区和中心分布区也相当一致,主要分布在新疆和内蒙古,并在其它西北各省有零星分布,而它的最大可能分布区还扩展到西藏及东北地区,与实际分布有很大区别,仅能作为参考。白梭梭主要分布于我国新疆的北部地区,在宁夏有零星栽培,其估测的中心分布区和最大分布区大都集中在新疆北部,与实际分布范围相一致,但中心分布区与最大分布区也扩展到内蒙古的中部,与实际分布有异。尖叶盐爪爪实际分布于我国河北、宁夏、陕西、甘肃、新疆、内蒙古和青海,主要分布区集中在新疆、宁夏和内蒙古的中、东部,估测的中心分布区和最大可能分布区与其实际分布区的对应性较好。松叶猪毛菜的实际分布、中心分布及最大可能分布范围比较一致,主要分布于我国宁夏、甘肃、内蒙古和新疆地区。合头草的中心分布区估测图较好地符合实际分布的范围,主要位于宁夏、甘肃、内蒙古、青海和新疆地区,而最大

图 2 西北干旱区 10 种荒漠植物的可能潜在分布中心和潜在最大分布范围

Fig. 2 Potential central distribution ranges and potential maximum distribution area of 10 desert plant species in the arid land, northwest China
左侧为植物种的可能潜在分布区,右侧为植物种的潜在最大分布区。自上到下 10 种植物为 The left part of the figure is the potential central distribution range of a species. The right part is the potential maximum distribution area of a species. From top to bottom the ten plant species are: 短叶假木贼 (*Anabasis brevifolia*)、木蓼 (*Atraphaxis frutescens*)、沙拐枣 (*Calligonum mongolicum*)、膜果麻黄 (*Ephedra przewalskii*)、裸果木 (*Gymnocarpus przewalskii*)、梭梭柴 (*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭 (*Haloxylon persicum*)、尖叶盐爪爪 (*Kalidium cuspidatum*)、松叶猪毛菜 (*Salsola laricifolia*) 和合头草 (*Sympegma regelii*)

分布区估测图存在明显的偏差,其分布界限延伸到我国东北地区,并在西藏也有少量分布。

综上所述,10 种荒漠植物的可能潜在分布估测中,多数植物种的中心分布区与实际分布范围有较好的对应,而只有少部分植物种的最大可能分布区与实际分布有一定的对应性,多数存在一些误差和不合理的地方。

3 讨 论

物种与气候关系的研究,是为了把握和理解现状气候条件下物种本身的生态学特性与环境之间的关系,从而为全球变化对生态系统的影响及其反馈、生物多样性保育与人类发展等奠定坚实的科学基础。为了准确把握物种与气候的关系,首先要弄清楚物种的确切地理分布范围和掌握准确的气象观测资料,但在目前的情况下这两个方面都难以保证,尤其是在自然环境恶劣、人类活动难以到达的地区,如荒漠、高原等,物种分布资料往往非常缺乏、气象台站非常稀疏,这就不可避免地造成物种与气候关系研究的不确定性。本文的研究对象为西北干旱区的荒漠植物,由于某些省份植物志的缺乏或者对某些植物种研究的缺乏,造成了一定程度上植物分布资料的残缺,而且荒漠地区气象台站稀疏,无法获取植物分布范围内最有效的气象数据,而不得不以插值的气象数据代替,因此在荒漠植物与大气候关系上存在一定的偏差。从另一个方面来说,由于我国西北干旱区长期受到人为活动的影响较大,现状植物种的地理分布也明显地受到了人为干扰。因此,依据这些受干扰的地理分布数据来分析其与气候因子的关系,也不可避免地影响到这种关系的准确性。然而,由于目前所能够获取的数据和信息非常局限,所以在某种程度上,我们认为这种植物种与气候的关系是相对准确的。

为了弥补这种缺陷,利用一些统计和机理性的生物气候模型来估测物种的潜在分布区,对于准确理解物种与气候的关系是非常有帮助的,如本文对 10 种荒漠植物种可能潜在分布中心的估测。但模拟模型也不可避免地存在自己的缺陷,可能造成预

测范围的不准确,由此引发了科学家们之间的争论。这在动物物种的模拟预测中尤为突出(例如, Samways *et al.*, 1999; Suthers, 2003);而在气候变化的全球背景下,物种间的相互作用、进化和散布特性以及物种的迁移等,都影响着物种与气候的关系,从而使得生物气候模型的应用受到局限(Davis *et al.*, 1998; Johnstone & Chapin, 2003; Pearson & Dawson, 2003);而且,空间尺度的不同,也可能造成物种与气候关系的不一致,因此在模拟预测时需要异质性的模型框架(Pearson & Dawson, 2003)。

因此,本文所估测的荒漠植物种潜在分布区与实际分布范围存在差异的原因,首先在于目前所拥有的植物种分布和气象资料的限制,而且植物种的实际分布范围受到人为活动的影响较大,其实际分布范围并非潜在分布区,所以无法完全把握植物种与气候的准确定量关系,由此造成了估测的潜在分布范围与实际分布区有一定的差异。其次,最大分布区的预测,其数据来源取自植物种所在实际分布地区的气候极值(最大和最小值),它所显示的只能是植物种分布的最大可能性,也就是在理想的状况下的最大可能分布范围,实际上无法准确表达植物种现实分布的主要地区;从此点来看,取自实际分布气候因子的平均值,并考虑其标准差所做的中心分布区的估测图,则可较好地反映一个植物种的潜在分布。再者,本文荒漠植物种分布范围的估测仅考虑了植物种与大气候的关系,而决定植物分布的环境因素除了大气候外,其它环境因子如土壤、基质、地形等也在不同程度上限制植物的分布,缺少这些因素的限制,植物种的分布范围估测也会产生一定的误差。因此,更加机理性的综合生物气候模型需要引入到植物种的模拟预测研究中。

从更加长远的研究以及更深入的生物多样性保育的意义上来看,除了过去长期研究的物种地理分布与气候的关系,以及最近的物种潜在分布区的模拟和在气候变化图景下的预测,我们还应该更加关注物种的数量,或者说物种丰富度的地理分布与气候以及其它环境因子的关系及其制图(倪健和丁圣彦, 2002),目前这方面的研究已经有了一些尝试和

结果(Gaston & Williams, 1993; Barthlott *et al.*, 1996, 1999; Kleidon & Mooney, 2000), 但需要更多的生态学家、地理学家和保护生物学家的参与。

参 考 文 献

- Anderson RP, Martinez-Meyer E (2004). Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*, 116, 167 – 179.
- Barthlott W, Biedinger N, Braun G, Feig F, Kier G, Mutke J (1999). Terminological and methodological aspects of the mapping and analysis of global biodiversity. *Acta Botanica Fennica*, 162, 103 – 110.
- Barthlott W, Lauer W, Placke A (1996). Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phytodiversity. *Erdkunde*, 50, 317 – 327.
- Box EO (1981). *Macroclimate and Plant Forms: an Introduction to Predictive Modeling in Phytogeography*. Dr W. Junk Publishers, The Hague.
- Box EO (1995). Factors determining distributions of tree species and plant functional types. *Vegetatio*, 121, 101 – 116.
- Cao KF, Peter R, Oldeman RAA (1995) Climate range and distribution of Chinese *Fagus* species. *Journal of Vegetation Science*, 6, 317 – 324.
- Chuine I, Beaubien EG (2001). Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters*, 4, 500 – 510.
- Davis AJ, Jenkinson LS, Lawton JH, Shorrocks B, Wood S (1998). Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, 391, 783 – 786.
- Editorial Committee for Flora of China (中国植物志编辑委员会) (1959 – 2000). *Flora of China* (中国植物志). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Editorial Committee for Flora of Inner Mongolia (内蒙古植物志编辑委员会) (1989 – 1998). *Flora of Inner Mongolia* (内蒙古植物志). Inner Mongolia People Press, Hohhot. (in Chinese)
- Editorial Committee for Flora of Qinghai (青海植物志编辑委员会) (1999). *Flora of Qinghai* (青海植物志). Qinghai People Press, Xining. (in Chinese)
- Editorial Committee for Flora of Xinjiang (新疆植物志编辑委员会) (1993 – 1996). *Flora of Xinjiang* (新疆植物志). Xinjiang Science, Technology and Health Press, Urumqi. (in Chinese)
- Fang JY, Yoda K (1990). Climate and vegetation in China (IV): distribution of tree species along the thermal gradient. *Ecological Research*, 5, 291 – 302.
- Gaston KJ, Williams PH (1993). Mapping the world's species — the higher taxon approach. *Biodiversity Letters*, 1, 2 – 8.
- Gignac LD, Halsey LA, Vitt DH (2000) A bioclimatic model form the distribution of Sphagnum-dominated peatlands in North America under present climatic conditions. *Journal of Biogeography*, 27, 1139 – 1151.
- Gottfried M, Pauli H, Reiter K, Grabherr G (1999). A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming. *Diversity and Distributions*, 5, 241 – 251.
- Hill MO (1991). Patterns of species distribution in Britain elucidated by canonical correspondence analysis. *Journal of Biogeography*, 18, 247 – 255.
- Hoffmann MH (2000). Biogeography and climatic differentiation of two annual species of *Teesdalia* R. Br. (Brassicaceae). *Journal of Biogeography*, 27, 989 – 999.
- Holdridge LR (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105, 367 – 368.
- Holdridge LR (1967). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica.
- Hong BG (洪必恭), An SQ (安树青) (1993). A preliminary study on the geographical distribution of *Fagus* in China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 35, 229 – 233. (in Chinese with English abstract)
- Hong BG (洪必恭), Li SZ (李绍珠) (1981). The preliminary study of the correlations between the distribution of main evergreen broadleaved tree species in Jiangsu and climates. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1, 105 – 111. (in Chinese with English abstract)
- Huang H, Han X, Kang L, Raven P, Jackson PW, Chen Y (2002). Conserving native plants in China. *Science*, 297, 935 – 936.
- Institute of Gazetteer Research, State Bureau of Surveying and Mapping (国家测绘局地名研究所) (1994). *Gazetteer of China* (中国地名录). China Map Press, Beijing. (in Chinese)
- Ji GF (纪国峰), Qi JZ (戚继忠) (1997) Study on the distribution of *Corylus* species and climatic factors. *Journal of Jilin Forestry College* (吉林林学院学报), 13, 129 – 131. (in Chinese with English abstract)
- Johnstone JF, Chapin FS (2003). Non-equilibrium succession dynamics indicate continued northern migration of lodgepole pine. *Global Change Biology*, 9, 1401 – 1409.
- Kira T (1976). Terrestrial ecosystem: an introduction. Kyoritsu Shuppan, Tokyo.
- Kira T (1977). A climatological interpretation of Japanese vegetation zones. In: Miyawaki A, Tixen R eds. *Vegetation Science and Environmental Protection*. Maruzen, Tokyo, 21 – 30.
- Kira T (1991). Forest ecosystems of East and Southeast Asia in global perspective. *Ecological Research*, 6, 185 – 200.
- Kleidon A, Mooney HA (2000). A global distribution of biodiversity inferred from climatic constraints: results from a process-based modelling study. *Global Change Biology*, 6, 507 – 523.
- Köppen W (1936). Geographical system of climate. In: Köppen W, Geiger R eds. *Handbook of Climatology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1 – 50.
- Lanzhou Institute of Desert Research, Chinese Academy of Sciences (中国科学院兰州沙漠研究所) (1985 – 1992). *Desert flora of China* (中国沙漠植物志). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Liu GH (刘国华), Fang JY (方精云) (2001). Analyses of geographical distribution and spatial characteristics of *Castanea mollissima* in China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 21, 164 – 170. (in Chinese with English abstract)
- Liu ZL (刘增力), Fang JY (方精云), Piao SL (朴世龙) (2002). Geographical distribution of species in genera *Abies*, *Picea* and *Larix* in China. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 57, 577 – 581. (in Chinese with English abstract)
- Ma DZ (马德滋), Liu HL (刘慧兰) (1986 – 1990). *Flora of Ningxia* (宁夏植物志). Ningxia People Press, Yinchuan. (in Chinese)
- McKenzie D, Peterson DW, Peterson DL, Thornton PE (2003). Climatic and biophysical controls on conifer species distributions in mountain forests of Washington State, USA. *Journal of Biogeography*, 30, 1093 – 1108.
- Ni J (倪健), Ding SY (丁圣彦) (2002). Modeling the large-scale distribution of plant diversity: a possibility inferred from cli-

- mate and productivity. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 26, 568 – 574. (in Chinese with English abstract)
- Ni J (倪健), Song YC (宋永昌) (1997). Relationships between climate and geographical distribution of dominants and companions for subtropical evergreen broad-leaved forest in China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 21, 114 – 129. (in Chinese with English abstract)
- Ni J (倪健), Song YC (宋永昌) (1998a). Relationship between Kira's indexes and distribution of dominants and companions of subtropical evergreen broad-leaved forest in China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 18, 248 – 262. (in Chinese with English abstract)
- Ni J (倪健), Song YC (宋永昌) (1998b). A discussion on the relationship between Penman's indexes and distribution of some tree species of subtropical evergreen broad-leaved forest in China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 40, 647 – 656. (in Chinese with English abstract)
- Ni J, Sykes MT, Prentice IC, Cramer W (2000). Modeling the vegetation of China using the process-based equilibrium terrestrial biosphere model BIOME3. *Global Ecology and Biogeography*, 9, 463 – 479.
- Pearson RG, Dawson TP (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12, 361 – 371.
- Prentice IC, Cramer W, Harrison SP, Leemans R, Monserud RA, Solomon AM (1992). A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography*, 19, 117 – 134.
- Robertson MP, Peter CI, Villet MH, Ripley BS (2003). Comparing models for predicting species' potential distributions: a case study using correlative and mechanistic predictive modelling techniques. *Ecological Modelling*, 164, 153 – 167.
- Samways MJ, Osborn R, Hastings H, Hattin V (1999). Global climate change and accuracy of prediction of species' geographical ranges: establishment success of introduced ladybirds (*Coccinellidae*, *Chilocorus* spp.) worldwide. *Journal of Biogeography*, 26, 795 – 812.
- Suthers RW (2003). Prediction of species geographical ranges. *Journal of Biogeography*, 30, 805 – 816.
- Sykes MT, Prentice IC (1996). Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change*, 34, 161 – 171.
- Sykes MT (1996). The biogeographic consequences of forecast changes in the global environment: individual species' potential range changes. *NATO ASI Series*, 147, 427 – 440.
- Sykes MT, Prentice IC, Cramer W (1996). A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates. *Journal of Biogeography*, 23, 203 – 233.
- Thuiller W (2003). BIOMOD — optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9, 1353 – 1362.
- Wang XR (王效瑞), Fan JH (范建华), Wang XS (汪祥森) (1986). Relationship between distribution of main tree species and water-thermal conditions in the "Three-North" protection forest region. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 5, 13 – 17. (in Chinese with English abstract)
- Woodward FI, Williams BG (1987). Climate and plant distribution at global and local scales. *Vegetatio*, 69, 189 – 197.
- Woodward FI (1987). *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Xu WD (徐文铎) (1983). The Relation between distribution of edificator and companion in zonal vegetation and water-temperature condition in Northeast China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 25, 264 – 274. (in Chinese with English abstract)
- Yim YJ (1977). Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula III: distribution of tree species along the thermal gradient. *Japanese Journal of Ecology*, 27, 177 – 189.

责任编辑: 高 琼 责任编辑: 姜联合