影响入侵种反枝苋分布的环境因子分析及可能分布区预测

刘伟^{1,2} 朱丽^{1,2} 桑卫国^{1*}

(1 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室 北京 100093) (2 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 反枝苋 (*Amaranthus retroflexus*) 是苋属入侵种中发生频率最多、分布最广、危害最严重的杂草。基于反枝苋在世界范围内 4 207 个实际分布点及其对应的气候、地形和土壤 3 类要素 28 个环境因子的定量关系, 利用主成分分析确定了影响其分布的主要环境因子, 据此估测其中心可能分布区和最大可能分布区, 并与实际分布点进行比较。结果表明: 14 个环境因子在决定反枝苋全球分布格局中起着重要作用。反枝苋中心分布区位于新西兰南部、澳大利亚东南部、南美洲北部少数地区、北美洲西北部及东南部部分地区、欧洲大部分地区和中国东南部, 最大可能分布区位于南美洲中南部、北美洲大部分、非洲北部小部分、澳大利亚南部及北部少数区域、欧洲大部分地区和亚洲大部分地区及中国除西藏、青海、新疆、四川西部以外的地区。中心分布区的预测结果与实际分布点吻合较好, 而最大分布区则过于广阔。

关键词 入侵种 反枝苋 环境因子 最大分布区 中心分布区 实际分布点

POTENTIAL GLOBAL GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF *AMARANTHUS RETROFLEXUS*

LIU Wei^{1,2}, ZHU Li^{1,2}, and SANG Wei-Guo^{1*}

¹Laboratory of Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China, and ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract Aims *Amaranthus retroflexus* is the most harmful, widely distributed invasive species in its genus. Our objective was to determine its potential worldwide distribution and compare that with its present distribution.

Methods We selected 28 environmental factors including climatic, topographic and soil factors as GIS layers and determined their quantitative relationship with the actual global distribution of the species, based on 4 207 herbarium records. Principal component analysis (PCA) was used to select the environmental factors influencing the distribution of the species. Based on these results, we estimated the central and maximum potential distribution of *A. retroflexus* and compared them to its actual geographical distribution.

Important findings Fourteen environmental factors importantly affected the distribution of *A. retroflexus*. The central potential distribution range was southern New Zealand, southeastern Australia, some areas in northern South America, northwestern and southeastern North America, most of Europe and southeastern China. The maximum potential distribution range was southcentral South America, most of North America, some areas in northern Africa, most of Europe, some areas in southern and northern Australia and most of Asia including most of China except Tibet, Qinghai Province, Xinjiang and western Sichuan Province. The potential central distribution of the species matched its actual distribution, whereas the potential maximum distribution was much larger.

Key words invasive species, *Amaranthus retroflexus*, environmental factors, maximum distribution, central distribution, actual distribution

随着国际贸易的迅速发展和各国交流的不断增多, 外来物种导致的生物入侵已经成为世界性的生态和经济问题(郑景明, 2004)。外来种入侵过程造成生态破坏所产生的直接经济损失或是人为控制所花费的间接经济损失都是巨大的(李振宇和解焱, 2002; Pimentel *et al.*, 2000)。在我国, 据粗略统计,

几种主要外来入侵物种所造成的损失平均每年高达 574 亿元人民币(李振宇和解焱,2002)。生物本身具有繁殖、扩散和适应的能力,一旦它们到达新区域,由于与当地物种没有共同进化的历史,所以就可能缺少自然天敌,外来物种较强的繁殖能力以及适宜的生存环境导致其种群数量爆发性的增长,以此加大了治理的难度,增加了花费的时间和费用(徐汝梅,2003)。在外来植物中,外来杂草最具有入侵性(强胜和曹学章,2000),全世界每年花费巨额资金用于外来杂草清除和除草剂的施用(桑卫国,2002)。

预防生物入侵比入侵后控制防止其大规模爆发更为有效而经济(Waage & Reaser,2001),而预防外来生物造成危害的重要手段是阻止可能造成入侵的物种进入适合其生存的地区(徐汝梅,2003)。因此,预测入侵种的潜在分布区是十分必要的。目前,对入侵植物潜在分布区预测工作已有部分报道,但研究对象主要集中于几个热点物种,如紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*) (Papes & Peterson,2003)、飞机草(*E. odoratum*) (Kriticos *et al.*,2005)等,许多危害很严重的入侵杂草还没有得到足够的重视。

全世界共有苋属(*Amaranthus*)植物约 40 种,而我国有 20 种,分布很广,其中有杂草 11 种,危害旱田作物、果树、茶树和蔬菜(李扬汉,1998)。苋属中发生频率最多和分布最广的种为反枝苋(*A. retroflexus*),又称野苋菜或西风谷,原产于美洲,在世界许多地方被列为恶性杂草。19 世纪中叶发现于我国河北和山东(李振宇和解焱,2002),现已成为全国性分布的恶性杂草,在我国暖温带危害面积达 36%(唐洪元,1987),是农田、果园、路旁和荒地的常见杂草。反枝苋因其植株个体大,常和玉米(*Zea mays*)、大豆(*Glycine max*)、春小麦(*Triticum aestivum*)等农作物争夺光、肥、水分,即使在低密度下也可以显著的造成作物产量的损失(倪汉文等,2000;李晓晶等,2004);同时,它也是多种农作物害虫的寄主(李晓晶等,2004)。此外,反枝苋富含硝酸盐,动物食用后容易中毒。目前,反枝苋已经名列中国重要外来有害植物名录。然而,对影响其分布的环境因子分析以及地理尺度上分布的预测尚未有报道。

为此,我们将反枝苋发生区域内的生物学特征和地理特征相结合,确定了影响其分布的主要因素,并利用地理信息系统(Geography information system, GIS)建模对反枝苋的分布区进行了预测。此种方法在地理分布预测方面的应用已受到普遍认可(蒋霞和倪健,2005; Lindsay *et al.*,1998;白章红等,

1997;赵友福和林伟,1995),预测结果证实了 GIS 能够很好的应用到物种可能分布区的研究中。

Austin(1980,1985)、Austin 等(1984)以及 Austin 和 Smith(1989)定义了 3 种类型的生态梯度,分别为资源梯度、直接梯度和间接梯度。资源梯度主要指营养物质、水分和植物所需的光照,直接梯度主要指一些对物种生理重要的环境因素(如温度、土壤 pH 值等);间接梯度指与物种生理非直接相关的因素(如坡度、坡向、海拔等)(徐汝梅等,2003)。Guisan 和 Zimmerman(2000)认为如果将直接梯度和资源梯度参数相结合来进行预测,模型将会更具有普遍性并且能够应用于大尺度的研究中(Guisan & Zimmermann,2000)。因而,以往的研究多数是利用直接梯度和资源梯度中相关气候要素来进行预测(Kriticos *et al.*,2005),并没有考虑间接梯度对物种分布的影响。基于此,我们选取资源梯度、直接梯度和间接梯度 3 种类型的环境因子分析影响反枝苋全球分布的主要环境因子并基于此对其全球范围内的可能分布区进行预测。

1 材料和方法

1.1 实际分布数据

利用中国科学院植物研究所标本馆、浙江大学标本馆、浙江林业大学标本馆和杭州植物园标本馆的标本记录以及世界生物多样性信息机构(Global biodiversity information facility, GBIF)的记录,收集反枝苋的实际分布点资料(南、北美洲 18 个分布点,亚洲 151 个分布点,澳洲 40 个分布点,非洲 4 个分布点,欧洲 3 994 个分布点,共计 4 207 个实际分布点)。参照国家测绘局地名研究所(1994)和陈成永(2004)确定其相应的经纬度坐标,以此确定其实际地理分布范围。

1.2 环境因子数据

温度、降水、海拔数据取自 Berkeley 大学 Worldclim 下载中心(Hijmans *et al.*,2004)。坡度和坡向基于海拔数据生成(ArcMap8.3, Spatial Analyst; ESRI,2003)。土壤数据基于国际地圈-生物圈计划数据信息来源(IGBP-DIS,2000)和全球生态系统数据库(GED,2000)文献。霜冻日、辐射数据基于 Intergovernmental Panel on Climate Change(2003)。生物温度根据各月平均气温图层由栅格计算得出(方精云和李莹,2002),可能蒸散率根据生物温度和年降雨量两个图层由栅格计算得出(蒋霞和倪健,2005)。各种环境因子图层均栅格为 1 km × 1 km。

1.3 数据处理方法

应用主成分分析(Principal component analysis , PCA)对反枝苋实际分布点所对应的 28 个定量环境因子的栅格图层中的数据进行定量分析 ,根据各种环境要素的因子得分 ,对各环境因子独立作用于反枝苋地理分布的影响程度进行排序。

环境图层栅格计算及叠加均在 Arcgis8.3 软件 (ESRI , 2003)上进行 ,主成分分析及相关计算在 SPSS11.5 软件(SPSS , 2000)上进行。

1.4 估测方法

根据反枝苋的地理分布 ,提取分布点所对应的 14 个环境要素值 ,并计算植物种分布所对应的主要环境指标数值的最大值、最小值、平均值和标准偏差。根据反枝苋地理分布与环境因子的定量关系 ,从理论上反推植物种的可能分布范围 ,即从植物种实际的点状分布预测其面上的分布区。这里包括两种可能分布范围 ,一是利用植物种所对应的环境因子的最大值和最小值绘制植物种的最大分布区范围 ,即理想状态下的分布范围 ;二是利用植物种所对应的环境因子的平均值及其标准差绘制植物种的中心分布范围 ,即植物种的中心分布范围(蒋霞和倪健 2005)。

2 实验结果

2.1 环境因子对反枝苋地理分布的影响

对反枝苋实际分布点所对应的 28 个环境因子的栅格图层中的数据进行主成分分析 ,确定前 3 个主成分的贡献率见表 1。主成分的得分值通过坐标转换而得 ,其大小和正负在评价中不可一概而论 ,只在具体评价中才具有意义。负号表明它对主成分的影响是负相关关系(陈永强等 2001) ,我们选取贡献率较高的前两个主成分进行分析。

表 1 影响反枝苋分布的环境因子前 3 个主成分的贡献率
Table 1 Contribution of environmental factors in the first three principle components

主成分次序 No. of components	贡献率 Contribution (%)
1	41.747
2	19.932
3	14.726
累计 Sum	76.405

表 2 列举了影响反枝苋地理分布的前两个主成分上的负荷量。从第一主成分特征向量来看 ,影响

反枝苋分布的环境因子中最干季度的降雨量、最干月份的降雨量、最冷季度的降雨量、极端最低温度、土壤含水量、最冷季度的平均温、最干季度的平均温、年降雨量、可能蒸散率、土壤有机碳储量、年平均温度的得分值为负值 ,表示它们对反枝苋的分布具有负影响 ,即数值越高则越不适于反枝苋的分布。由得分值可知 ,负相关程度最高的前 3 项均为降水因子 ,这说明降水与反枝苋的地理分布呈显著负相关。其中 ,极端最低温、最冷季度的平均温、最干季度的平均温为低温指标 ,说明低温因素也与反枝苋的地理分布呈负相关。此外 ,土壤水分与反枝苋地理分布的负相关程度也较高。其余 17 项——气温年较差、温度变差系数、降水变差系数、月温差、太阳辐射、极端最高温、土壤 pH 值、最暖季度的平均温、霜冻日、最湿季度的平均温、海拔、坡度、最暖季度的降雨量、最湿月份的降雨量、生物温度、最湿季度的降雨量和坡向的得分为正值 ,表明它们对反枝苋的分布具有正的影响 ,即数值越高越利于反枝苋的分布。由得分值可以看出正相关程度最高的 4 项均为反映温度或降水变化范围的因子 ,这说明温度或降水的波动越大越适合反枝苋的分布。太阳辐射与反枝苋分布的正相关程度也较高。极端最高温、最暖季度的平均温、最湿季度的平均温为高温指标 ,且得分值较小 ,这说明高温因素在反枝苋的地理分布中并未起到关键作用。此外 ,地形因子海拔、坡度、坡向与反枝苋的地理分布呈正相关 ,但分值较小 ,说明地形因子对反枝苋的分布影响不大。从第二主成分特征向量来看 ,得分值较大的环境因子为温度因子生物温度和年平均温度 ,且与反枝苋的分布均为正相关关系。

根据以上结果 ,我们选取对反枝苋的地理分布有显著影响的 14 个主要环境因子在 GIS 中建模对反枝苋的分布区进行预测 ,其中包括 :温度因子中相关性较高的月温差、温度变差系数、极端最低温、气温年较差、最冷季度的平均温、生物温度、年平均温度 ,降水因子中的最干月份的降雨量、降水变差系数、最干季度的降雨量、最冷季度的降雨量、太阳辐射 ,地形因子中相关性最高的海拔 ,土壤因子中相关性最高的土壤水分。

2.2 反枝苋与环境因子的定量关系及可能分布区估测

反枝苋实际地理分布点所对应的月温差、温度变差系数、极端最低温、气温年较差、最冷季度的平均温、生物温度、年平均温度、最干月份的降雨量、降

表 2 影响反枝苋分布的 28 个环境因子在前两个主成分上的负荷量
Table 2 Load of 28 environmental indexes in the first two principle components that affecting the distribution of *Amaranthus retroflexus*

环境指标 Environmental indexes	主成分 1 Component 1	主成分 2 Component 2
气温年较差 Temperature annual range(℃)	0.960	-0.053
温度变差系数 Temperature seasonality	0.911	-0.214
最干季度的降雨量 Precipitation of the driest quarter(mm)	-0.907	-0.010
最干月份的降雨量 Precipitation of the driest month(mm)	-0.906	-0.037
最冷季度的降雨量 Precipitation of the coldest quarter(mm)	-0.861	0.089
降水变差系数 Precipitation seasonality coefficient of variation	0.856	0.155
极端最低温 Min temperature of the coldest month(℃)	-0.820	0.459
月温差 Mean diurnal range(℃)	0.783	0.354
土壤水分 Soil moisture(g·kg ⁻¹)	-0.760	-0.080
太阳辐射 Radiation(MJ·m ⁻²)	0.744	0.534
最冷季度的平均温度 Mean temperature of the coldest quarter(℃)	-0.665	0.650
极端最高温 Max temperature of the warmest month(℃)	0.694	0.635
土壤 pH 值 Soil pH value	0.680	0.238
最暖季度的平均温度 Mean temperature of the warmest quarter(℃)	0.649	0.682
最干季度的平均温度 Mean temperature of the driest quarter(℃)	-0.639	0.561
霜冻日 Frost day(d)	0.628	-0.614
最湿季度的平均温度 Mean temperature of wettest quarter(℃)	0.610	0.278
海拔 Altitude(m)	0.588	-0.067
年降雨量 Annual precipitation(mm)	-0.568	0.418
可能蒸散率 Potential evapotranspiration ratio(℃·mm ⁻¹)	-0.565	0.416
土壤有机碳储量 Soil carbon(kg·m ⁻²)	-0.422	-0.282
坡度 Slope(°)	0.356	-0.135
最暖季度的降雨量 Precipitation of the warmest quarter(mm)	0.206	0.510
最湿月份的降雨量 Precipitation of the wettest month(mm)	0.199	0.219
生物温度 Biotemperature(℃)	0.153	0.937
年平均温度 Annual mean temperature(℃)	-0.143	0.926
最湿季度的降雨量 Precipitation of wettest quarter(mm)	0.062	0.506
坡向 Aspect(°)	0.032	-0.021

水变差系数、最干季度的降雨量、最冷季度的降雨量、太阳辐射、海拔、土壤水分的平均值、标准差、最大值和最小值见表 3。

根据以上 14 个环境因子的平均值和气候变量极值 ,我们推出其中心可能分布范围(图 1)和最大可能分布范围(图 2) ,其中颜色越深表明其分布概率越大。从图 1 可知 ,反枝苋世界范围的可能的中心分布区域主要位于澳洲的新西兰南部和澳大利亚东南部、南美洲的阿根廷南部及东北部、北美洲的美国阿拉斯加南部、美国中北部及东北部、加拿大东部和西部的少数国家、欧洲大部分地区、亚洲的土耳其中部、中国东南部、韩国东部和日本部分地区。

从图 2 可知 ,反枝苋世界范围的最大分布区域位于北美洲的美国阿拉斯加南部、美国和墨西哥的大部分地区、南美洲的巴西中西部 and 南部、乌拉圭大部分地区及阿根廷大部分地区、非洲的马达加斯加、南非南部、博茨瓦纳大部分地区、莫桑比克大部分地区、安哥拉中部、赞比亚中北部、马拉维大部分地区、

摩洛哥大部分地区、阿尔及利亚北部、突尼斯大部分地区、澳洲的澳大利亚南部及北部少数地区、新西兰大部分地区、欧洲大部分地区、亚洲大部分地区包括中国境内除西藏、青海、新疆、四川西部以外的大部分地区。

比较反枝苋世界范围的实际分布区、可能分布的中心分布区和最大分布区 ,我们可以看出 :中心分布区和最大分布区存在较大差异 ,北美洲的中心分布区仅位于美国阿拉斯加南部 ,美国及加拿大的东南部 ,与实际分布区存在一定差异 ,虽然最大分布区较为广阔 ,但是它基本弥补了实际分布区在中心分布区中没有体现出来的区域 ;南美洲的中心分布区位于阿根廷南部及东北部 ,由于南美洲的分布资料缺乏 ,在实际分布区没有反映出来 ,但在估测的分布区中得到了反映 ;欧洲的实际分布区与中心分布区都很广阔 ,中心分布区除了涵盖实际分布区的分布范围 ,还延伸到了欧洲的西南部及东部地区 ,与实际分布区基本吻合 ;亚洲的中心分布区位于中国的东

表 3 影响反枝苋在世界范围地理分布的 14 个主要环境指标

环境指标 Environmental indexes	最小值 Minimum	最大值 Maximum	均值 Mean	标准偏差 Standard deviation
年平均温度 Annual mean temperature (°C)	- 3.5	27.3	8.91	1.61
月温差 Mean diurnal range (°C)	5.2	18.7	8.22	1.46
温度变差系数 Temperature seasonality	8.3	159.7	63.97	13.70
极端最低温 Min temperature of the coldest month (°C)	- 33.2	18.1	- 2.95	3.45
生物温度 Biotemperature (°C)	3.7	27.2	9.02	1.44
气温年较差 Temperature annual range (°C)	16.4	58.1	25.71	4.86
最冷季度的平均温度 Mean temperature of the coldest quarter (°C)	- 24.2	26.2	0.64	2.88
最干月份的降雨量 Precipitation of the driest month (mm)	0	85	39.83	12.84
降水变差系数 Precipitation seasonality	8	145	23.90	17.55
最干季度的降雨量 Precipitation of the driest quarter (mm)	1	311	130.10	40.16
最冷季度的降雨量 Precipitation of the coldest quarter (mm)	3	623	151.51	56.50
太阳辐射 Radiation (MJ·m ⁻²)	77	201	107.63	15.53
海拔 Altitude (m)	- 3	2 465	217.946	250.22
土壤水分 Soil moisture (g·kg ⁻¹)	0.73	149.9	82.55	34.87

图 1 反枝苋全球范围的实际分布点和估测中心分布范围

Fig.1 Actual distribution sites and central possible distribution ranges of *Amaranthus retroflexus* in the world
图中点为反枝苋实际分布点,颜色越深,代表预测的分布概率越大 The points in the figure represent actual distribution sites of *Amaranthus retroflexus* in the world , darker color means higher distribution probability

图 2 反枝苋全球范围的实际分布点和估测最大分布范围

Fig.2 Actual distribution sites and maximum possible distribution area of *Amaranthus retroflexus* in the world
图注见图 1 Note see Fig. 1

南部,实际分布区有的中国的东北部及西北部地区在中心分布区中没有得到体现,最大分布区虽然弥补了这一缺陷,但它的分布范围过于广阔,澳洲的中心分布区和实际分布区比较吻合,而最大分布区则较为广阔,延伸到了澳大利亚西南部、南部及北部的部分地区,这与实际分布区不符合,非洲的植物分布资料很少,缺乏验证点,中心分布区主要集中于非洲中西部的少数地区,最大分布区则较为广阔。

综上所述,反枝苋世界范围内的可能分布区估测中,大部分地区的中心分布区与实际分布区有较好的对应,实际分布区在中心分布区中未体现的部分在最大可能分布区中均有体现。但是最大可能分布区过于广阔,与实际分布区的对应性相对较差。

3 讨 论

根据入侵种的实际分布点与对应的环境因子的关系可以从点上反推其面上的可能分布区,倘若进一步分析入侵种的大尺度分布,还应考虑其内在生物学特性、引入时间或是其它干扰因素等。外来种建立种群和扩散的过程中受到很多因素的影响,包括多种环境因子的相互作用,如温度、降雨、海拔、土壤类型等(郑景明, 2004),在创建模型时如果考虑过多的环境因子,将会使模型变得极为庞大,也使预测结果分析更为繁杂,而且某些环境因子之间具有较高的相关性,更增加了分析各环境因子对反枝苋地理分布的独立影响的难度。主成分分析方法可以剔除各因子之间的相关性,使结果能够直接反映各环境因子对反枝苋地理分布的影响。因此,利用主成分分析方法选择主要的影响因素并评价不同环境因子对反枝苋地理分布的影响是一种可行的方法。利用地理信息系统研究世界范围内植物的地理分布影响因子需要有植物地理分布数据和环境因子分布数据,并且需要 GIS 工具才能够实现分析。由于植物地理分布数据缺乏及环境因子分布数据的不够精确等原因,给估测外来种的分布造成了很大的障碍。

气候一直被认为是影响物种在大尺度上地理分布的关键因素(Baker *et al.*, 2000; Forman, 1964),主成分分析表明与反枝苋全球范围的地理分布显著相关的环境因子恰恰是气温及水分等气候因子,地形及土壤因子对其影响并不大。进一步分析这些主要环境因子,其中,月温度变化范围、年温度变化范围、温度的变异程度和降雨的变异程度 4 项因子与反枝苋大尺度的地理分布呈显著正相关,说明反枝苋可适应相对较宽的温湿度梯度,能在气候波动较

大的地区生长。植物生长往往要求温度因子有规律变化的配合,且变温对于植物体内干物质的转移和积累具有良好的作用,而过大的波动将会使植物生长发育受到胁迫。当气候条件波动较大时,即外界干扰较为强烈时,反枝苋比本地种具有更强的耐受性,它能够适应这种干扰,因此具有较强的竞争力,将本地种排挤出去。年平均温度代表冷暖程度的平均状况,生物温度反映了生物正常生理活动期间所需要的热量条件的平均情况,两者是决定植被地带性的主要气候因子,它们与反枝苋大尺度的地理分布均呈显著正相关,说明反枝苋是一种喜温杂草。太阳辐射是指绿色植物进行光合作用所需的那一部分,是形成生物量的基本能源,直接影响植物的生长、发育、产量和产品质量(于贵瑞等, 2004),它与反枝苋大尺度的地理分布呈正相关。最干季度的降雨量、最干月份的降雨量、最冷季度的降雨量表示低温季节降雨量,它们与反枝苋大尺度的地理分布呈显著负相关,在低温季节对水份的要求较低。极端最低温、最冷季度的平均温表示生物的低温耐受程度,超过生物耐受限度,生物将无法生存,两者与反枝苋大尺度的地理分布呈显著负相关,这说明反枝苋对低温胁迫较敏感。土壤水分反映了植物生长发育所需的水分条件,它与反枝苋大尺度的地理分布呈负相关,说明反枝苋对土壤水分的底线要求不高,具有一定的耐旱能力。这与吴海荣和强胜(2003)所描述的反枝苋多分布在旱地农田及土壤水分含量偏小的地区的观点相一致。

最大可能分布图及实际分布点展示了反枝苋的实际分布区域及可能分布区域都非常广,这就说明反枝苋是一种世界性广布种。但是通过反枝苋中心和最大分布区与实际分布点的比较,可以看出本文所估测的反枝苋全球范围内的分布区存在一定的误差。分析其原因:首先,由于文中所采用的 4 207 个标本实际分布点(南、北美洲 18 个分布点,亚洲 151 个分布点,澳洲 40 个分布点,非洲 4 个分布点,欧洲 3 994 个分布点)在某些地区的缺乏或者过于稀疏,进而不能准确提取反枝苋分布点所对应的全部信息,且文中所采用的中国的分布数据来自中国科学院植物研究所标本馆、浙江大学标本馆、浙江林业大学标本馆、杭州植物园标本馆的标本记录,标本资料相对有限,且缺乏实地的调查,这都可能导致其分布预测存在一定程度的地理偏差;其次,影响反枝苋地理分布的环境因子除气候、地形及土壤等因素外,自然或人为干扰、土地利用及管理也对其地理分布

有一定的影响,由于这些人为因素很难定量地输入模型进行模拟,缺少这些因子的限制,对反枝苋分布范围的估测也会造成一定误差。

我们使用反枝苋实际分布点的各环境因子的极值(最大值和最小值)对其最大分布区的估测,仅反映了反枝苋在理想状况下的最大可能分布范围,即适合它生存的地区,由于许多地理因素的限制(如高山、海洋等)阻隔限制其种源的传播所导致其无法入侵至适生区,使其不能准确代表反枝苋的实际分布范围。应用反枝苋实际分布点所对应的环境因子的平均值及标准偏差数据对其中心分布区的估测,较好地反映了反枝苋生存的最适环境条件,也是有极大可能的分布区,相对于最大分布区来说能够更为准确的反映反枝苋的可能分布区。这些有极大可能分布的中心分布区域,可考虑作为反枝苋防治工作的重点区域。

参 考 文 献

- Austin MP (1980). Searching for a model for use in vegetation analysis. *Vegetatio*, 42, 11 – 21.
- Austin MP, Cunningham RB, Fleming PM (1984). New approaches to direct gradient analysis using environmental scalars and statistical curve-fitting procedures. *Vegetatio*, 55, 11 – 27.
- Austin MP (1985). Continuum concept, ordination methods and niche theory. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16, 39 – 61.
- Austin MP, Smith TM (1989). A new model for the continuum concept. *Vegetatio*, 83, 35 – 47.
- Bai ZH (白章红), Zhou GL (周国梁), Qian TR (钱天荣), Jiang ZF (蒋樟法) (1997). Study on establishment of karnal bunt disease in China. *Plant Quarantine (植物检疫)*, 11, 331 – 334. (in Chinese with English abstract)
- Baker RHA, Sansford CE, Jarvis CH, Cannon RJC, Macleod A, Walters KFA (2000). The role of climatic mapping in predicting potential distribution of non-indigenous pests under current and future climates. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 82, 57 – 71.
- Chen CY (陈成永) (2004). *Electronic Map of China (全中国电子地图)*. China Map Press, Beijing. (in Chinese)
- Chen YQ (陈永强), Lü J (吕军), Liu YL (柳云龙) (2001). Study on evaluation index system of red soil degradation. *Journal of Soil and Water Conservation (水土保持学报)*, 15(2), 72 – 76. (in Chinese with English abstract)
- ESRI (2003). *Arcview GIS, Version 8.3*. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California, USA.
- Fang JY (方精云), Li Y (李莹) (2002). Climate factors for limiting northward distribution of eight temperate tree species in eastern North America. *Acta Botanica Sinica (植物学报)*, 44, 199 – 203. (in English with Chinese abstract)
- Forman RTT (1964). Growth under controlled conditions to explain the hierarchical distributions of a moss, *Tetraphis pellucida*. *Ecological Monographs*, 19, 474 – 499.
- Global Ecosystems Database (2000). *National Geophysical Data Center*. Available from <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/ecosys/ecosys.shtml>.
- Guisan A, Zimmermann NE (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling*, 135, 147 – 186.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2004). *The WorldClim Interpolated Global Terrestrial Climate Surfaces. Version 1.3*. Available at <http://bioge.berkeley.edu/>
- 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)
- International Geosphere-Biosphere Programme, Data and Information System (IGBP-DIS) (2000). *Global Soil Data Task*. Available from <http://sage.wisc.edu/atlas/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2003). *Data Distribution Center*. Available from <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>
- Jiang X (蒋霞), Ni J (倪健) (2005). Species-climate relationships of 10 desert plant species and their estimated potential distribution range in the arid lands of northwestern China. *Acta Phytotologica Sinica (植物生态学报)*, 29, 98 – 107. (in Chinese with English abstract)
- Kriticos DJ, Yonow T, Mcfadyen RE (2005). The potential distribution of *Chromolaena odorata* (siam weed) in relation to climate. *Weed Research*, 45, 246 – 254.
- Lindsay SW, Person L, Thomas CJ (1998). Mapping the ranges and relative abundance of the two principal African malaria vectors, *Anopheles gambiae sensu stricto* and *An. arabiensis*, using climate data. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 265, 847 – 854.
- Li XJ (李晓晶), Zhang HJ (张宏军), Ni HW (倪汉文) (2004). Review on the biological characters and control of Red-root pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). *Pesticide Science and Administration (农药科学与管理)*, 25(3), 13 – 16. (in Chinese with English abstract)
- Li YH (李扬汉) (1998). *Weeds of China (中国杂草志)*. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Li ZY (李振宇), Xie Y (解焱) (2002). *Invasive Alien Species in China (中国外来入侵种)*. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Ni HW (倪汉文), Zhang L (张丽), Chen Y (陈勇), Li SL (李善林) (2000). Yield loss model due to the infestation of weeds in summer maize. *Acta Phytophylacica Sinica (植物保护学报)*, 27, 163 – 167. (in Chinese with English abstract)
- Papes M, Peterson AT (2003). Predicting the potential invasive distribution for *Eupatorium adenophorum* Spreng. in China. *Journal of Wuhan Botanical Research (武汉植物学研究)*, 21, 137 – 142.

Pimentel D, Lach L, Zuniga R, Morrison D (2000). Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States. *BioScience*, 50, 53 – 65.

Qiang S (强胜), Cao XZ (曹学章) (2000). Survey and analysis of exotic weeds in China. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), 9(4), 34 – 38. (in Chinese)

Sang WG (桑卫国) (2002). Primary analysis of invasive characteristics of alien weeds in China. *Review of China Agricultural Science and Technology* (中国农业科技导报), 4(5), 59 – 61. (in Chinese)

SPSS (2000). *SPSS 10.0 for Windows*. SPSS Inc. Chicago, USA.

Tang HY (唐洪元) (1987). Longitude distribution and harm of cropland weeds in N 26° of China. *Journal of Weed Science* (杂草学报), 1(2), 8 – 10. (in Chinese with English abstract)

Waage JK, Reaser JK (2001). A global strategy to defeat invasive species. *Science*, 292, 1486.

Wu HR (吴海荣), Qiang S (强胜) (2003). Quantitative survey on exotic weeds in autumn in Nanjing. *Biodiversity Science* (生物多样性), 11, 432 – 438. (in Chinese with English abstract)

Xu RM (徐汝梅) (2003). *Biological Invasion-Data Collection, Quantitative Analysis and Alarm in Advance* (生物入侵——数据集成、数量分析与预警). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Yu GR (于贵瑞), He HL (何洪林), Liu XA (刘新安) (2004). *Atlas for Spatialized Information of Terrestrial Ecosystem in China—Volume of Climatological Elements* (中国陆地生态系统空间化信息研究图集——气候要素分卷). China Meteorological Press, Beijing. (in Chinese)

Zhao YF (赵友福), Lin W (林伟) (1995). Primary study on potential distribution of *Erwinia amylovora* using geographic information system. *Plant Quarantine* (植物检疫), 9, 321 – 326. (in Chinese)

Zheng JM (郑景明) (2004). *Introduction to Ecology of Biological Invasion* (入侵生态学导论). Postdoctoral Dissertation, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 2. (in Chinese with English abstract)

责任编委：高玉葆 责任编辑：张丽赫