

文章编号:1004-8227(2010)11-1283-07

## 中国外来入侵动物的分布格局及其 与环境因子和人类活动的关系

王双玲<sup>1</sup>, 李中强<sup>1\*</sup>, 汪正祥<sup>1</sup>, 张 萌<sup>2</sup>, 徐 军<sup>3</sup>, 刘仁宏<sup>4</sup>

(1 湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉 430062; 2. 江西省环境保护科学研究院, 江西 南昌 330029;

3. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072; 4. 湖北省沙市中学, 湖北 沙市 434000)

**摘 要:** 外来入侵动物给中国生物多样性、生态环境和国民经济带来严重影响。正确认识区域尺度上外来入侵动物的分布格局及影响因素对外来入侵动物的预测、管理和防治具有重要意义。通过资料搜集、采用聚类分析和排序等研究方法, 分析了外来入侵动物的空间分布格局及自然环境因子和人类活动强度对外来入侵动物分布格局的影响。结果表明, 中国报道现有外来入侵动物 136 种, 其中昆虫最多, 占整个外来入侵数量的 56.6%。从入侵方式上看, 外来入侵动物主要以无意引进方式引入, 占整个外来入侵数量的 53.6%。外来入侵动物物种在各省的数量和密度都呈现出由东南沿海向西北内陆减少的趋势, 数据分析表明在较大尺度上纬度是决定中国外来入侵动物分布格局的主导因子, 而在局部尺度上人为因素对其分布格局影响较大。

**关键词:** 格局; 入侵动物; 人类活动; 人口密度; 纬度

**文献标识码:** A

生物入侵(biological invasion)是指生物由原生地经自然的或人为的途径侵入到另外一个环境, 对入侵地的生物多样性、农林牧渔业生产以及人类健康造成经济损失或生态灾难的过程<sup>[1]</sup>。生物入侵已被列为当今世界最为棘手的三大环境难题之一, 据统计近年来我国森林入侵害虫每年发生危害的面积约在 150 万  $\text{hm}^2$ , 农业入侵害虫危害面积达 140 万~160 万  $\text{hm}^2$ , 每年几种主要外来入侵物种造成的经济损失达 574 亿元人民币<sup>[2]</sup>。随着全球经济一体化进程的加快, 生物入侵所带来的危害可能越来越严重, 因而加大对外来入侵种的预防、控制和恢复本地种的研究是科学工作者和政府管理人员急需解决的问题, 这对保障我国生态安全、经济安全具有十分重要的意义<sup>[3]</sup>。

从 20 世纪 50 年代开始, 各国科学家就对外来入侵种进行了比较深入系统的研究<sup>[4]</sup>。目前为止, 宏观上对外来入侵生物的研究主要集中在入侵途径、入侵地的环境特征和入侵分布格局等的研究上<sup>[5,6]</sup>, 其中欧洲、北美等地区和国家在外来种入侵

分布格局研究方面已经取得了较大的进展, 相对而言亚洲等地区在外来种入侵分布格局方面的研究显得较为薄弱<sup>[5~12]</sup>。我国对外来生物入侵格局的研究很少, 仅见以外来入侵植物分布格局及影响因素分析<sup>[7]</sup>和外来物种入侵的现状和入侵原因的报道<sup>[13]</sup>。对外来入侵动物研究, 基本都是从定性的角度对全国外来入侵动物的现状进行分析<sup>[8,14]</sup>, 或只是针对单个省份对其入侵动物进行归类, 并探讨这些外来物种的入侵方式及产生的危害<sup>[15,16]</sup>。

决定外来物种入侵的因素主要包括两方面, 一是外来入侵种的生物学特性, 二是入侵地的自然环境特征和人为环境特征<sup>[7,10]</sup>。其中入侵地的自然环境特征决定了外来种能否在入侵地定居、扩散, 以及在新的生态系统中能否生长和繁衍<sup>[11]</sup>, 而入侵地的人为环境特征则为生物入侵提供了入侵的机会, 创建了能够定居的受干扰环境, 而且还是生物入侵的重要媒介<sup>[12]</sup>。外来动物入侵是一个动态过程, 因此从较大的空间尺度探讨我国外来动物的入侵动态和分布格局, 阐明影响我国外来入侵动物空间分布格

收稿日期:2010-04-07; 修回日期:2010-06-07

基金项目:国家自然科学基金项目(30870260); 湖北省自然科学基金项目(2007ABA147)

作者简介:王双玲(1984~), 女, 甘肃省张掖人, 硕士研究生, 主要从事环境生态学研究. E-mail: huangling\_8@163.com

\* 通讯作者 E-mail: lizhq@hubu.edu.cn

局的自然环境因子和人为因子,将有助于加强对外来入侵动物的控制和管理。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

中国外来入侵动物物种及分布数据主要来源于《中国外来入侵物种编目》<sup>[17]</sup>、《重要农林外来入侵种的生物学与控制》<sup>[1]</sup>、《农业重大外来入侵生物》<sup>[18]</sup>。从上述资料中总结出来的数据有:外来入侵动物物种数(Number of invasive alien animal species,NIS)、外来入侵动物物种密度(Density of invasive alien animals,ID)和各省外来入侵动物物种组成(34×136 的 0/1 矩阵,列表示省份,行表示物种,物种在该省存在与否用 1 或 0 表示),其中:

外来入侵动物物种密度(ID)=各省外来入侵动物物种数(NIS)/各省面积(PAR)

分析中运用到的中国各省自然环境因子和人类活动因子的数据资料主要来自 2009 年各省的统计年鉴以及中国资源环境经济人口数据库(<http://www.data.ac.cn/index.asp>)、中国宏观数据挖掘分析系统(<http://number.cnki.net/cyfd>)。所选择的自然环境因子变量包括:年平均降水量、一月平均气温、七月平均气温、年平均气温、省面积、中心经度、中心纬度、省森林覆盖率;人类活动因子包括:人口总数、人口密度、省年度国内生产总值、单位国土面积的 GDP、人均 GDP、进口货物总额、外来游客人数、交通总里程数。本文采用变量的名称、缩写代码、单位等说明见表 1。其中:

人口密度(PLD)=人口总数(TPL)/面积(PAR)

交通里程总数(TTP)=公路线里程+铁路线里程+水路线里程

单位国土面积 GDP(aGDP)=各省年度国内生产总值(GDP)/各省面积(PAR)

### 1.2 数据分析

全国 34 个行政区(包括省、自治区、直辖市和特别行政区)被用作本文研究中的空间单位。首先应用 ArcView 软件对中国各省外来入侵动物物种数作图,从图中可以直观显示出各省外来入侵动物物种的数量和密度分布状况。应用排序和聚类分析显示中国 34 个省级单位外来入侵动物的分布格局。

应用 SPSS16.0 软件进行统计分析。主要分析包括:① 利用 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 检测变量的正态分布性,当  $p < 0.05$  时对变量

进行合理的数据转化,数据转化方法见表 1;② 对 16 个环境因子和人类活动因子进行主成分分析,当特

表 1 中国各省自然环境因子和人类活动的变量

Tab. 1 Variables of Environmental Factors and the Intensity of Human Activities in Province, China

| 变量<br>Variables                                         | 单位<br>Units                     | 数据转换<br>Data transformation |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 自然环境变量<br>Environmental factors                         |                                 |                             |
| 年平均降水量<br>Annual precipitation (APP)                    | mm                              | 对数转化 ln                     |
| 一月平均气温<br>Mean temperature in January(MT <sub>1</sub> ) | ℃                               | —                           |
| 七月平均气温<br>Mean temperature in July(MT <sub>7</sub> )    | ℃                               | —                           |
| 年平均气温<br>Mean temperature (MT)                          | ℃                               | —                           |
| 省面积<br>Area of province (PAR)                           | 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> | SIN()转化                     |
| 中心纬度<br>Latitude (LTD)                                  | °                               | —                           |
| 中心经度<br>Longitude (LGD)                                 | °                               | —                           |
| 森林覆盖率<br>Percentage of forest cover(F)                  | %                               | —                           |
| 人类活动影响变量<br>Anthropological factors                     |                                 |                             |
| 人口总数<br>Total population (TPL)                          | 10 <sup>4</sup> 人               | —                           |
| 人口密度<br>Population density(PLD)                         | 人/km <sup>2</sup>               | 对数转化 ln                     |
| 省年度国内生产总值<br>Values of annual gross production (GDP)    | 10 <sup>8</sup> RMB             | —                           |
| 单位国土面积 GDP<br>GDP on unit area(aGDP)                    | 亿元/km <sup>2</sup>              | 对数转化 ln                     |
| 人均 GDP<br>GDP per capita(GDP <sub>p</sub> )             | 亿元/人                            | 平方根转化                       |
| 进口货物总额<br>Values of imported goods(VIC)                 | 万美元                             | 对数转化 ln                     |
| 外来旅游人数<br>Number of foreign tourists(NFT)               | 万人                              | 对数转化 ln                     |
| 交通里程总数<br>Total of transport (TTP)                      | km                              | —                           |

征根(Eigenvalues)>1 时提取 4 个主成分(F1、F2、F3、F4),并根据主成分综合模型计算出综合主成分分值;③应用向前逐步回归在 4 个主成分中筛选出重要的变量,纳入多元线性逐步回归方程,分析影响外来入侵动物物种数量和密度的关键因子。

应用 PC-ORD 软件进行典范对应分析,确定外来入侵动物在中国各省的分布格局与环境及人类活动因子的关系。文中进行典范对应分析的两个数据矩阵分别是中国外来入侵动物物种(136 种)在各省的有无入侵 0/1 矩阵和自然环境因子和人类活动因子在各省的数据矩阵。

## 2 结果

### 2.1 中国外来入侵动物的数量和入侵途径

资料整理结果表明中国现报道外来入侵动物共 136 种,其中昆虫最多,有 77 种,其次为其他无脊椎动物、鱼类、两栖类、爬行类、鸟类、啮齿类,分别为 31 种、12 种、4 种、1 种、3 种和 8 种。

入侵途径可分自然入侵、有意引进、无意引进和不详 4 类,在报道的 136 种外来入侵动物中,主要入侵途径为无意引进,有 73 种,占整个外来入侵数量的 53.6%,其次为有意引进和自然入侵,分别为 30 种和 18 种,各占我国外来入侵动物数量的 22%和 13.2%(见图 1)。

### 2.2 中国外来入侵动物的空间分布格局

中国外来入侵动物物种数量的空间变动很大,

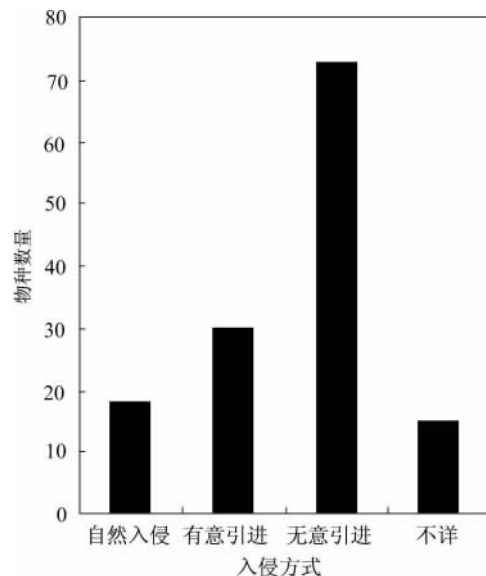


图 1 中国外来动物的入侵途径

Fig. 1 Invasive Approaches of Alien Animals in China

西北和西南各省的入侵物种数量较少,其中西藏最少,仅有 14 种;东南沿海地区及台湾、香港等地入侵的物种数量较多,其中广东最多,有 83 种。入侵物种数量分布总体呈现出由东南沿海向西北内陆减少的趋势(图 2(a))。外来入侵动物物种密度分布在各个省份的变动也很大,其中每平方千米分布 0~1.5 个的省份主要是我国西南、西北和东北的 8 个省份,密度分布最大的是香港和澳门这两个特别行政区,密度分布总体也呈现出由东南沿海向西北内陆减少的趋势(图 2(b))。

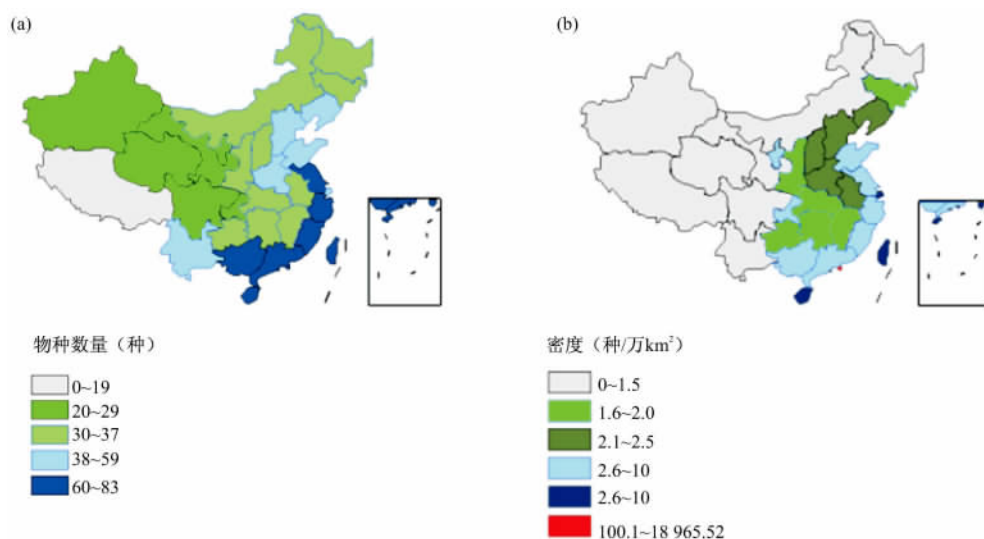


图 2 外来入侵动物物种数量(a)和密度(b)的空间变异

Fig. 2 Number(a) and Density(b) of Invasive Alien Animal Species in Each Province of China

根据外来入侵动物在各个省份的有无矩阵进行聚类分析,图 3 用树状图的形式反映出我国 34 个省聚类分析的结果。图中虚线将 34 个省聚为 4 大类型。据此在图 4 中标出了 4 大区域,其中纬度较低的东南部地区为 I 区域;上海、山东、江苏、浙江为 II 区域;而中纬度地区的西南和华中少数省份为 III 区域;纬度较高的东北、西北以及华北的部分省份为 IV 区域。由此可见外来入侵动物在各省的分布格局与纬度梯度关系明显。图 4 中点与点之间的距离表示省与省之间外来入侵动物组成分布的相似程度。

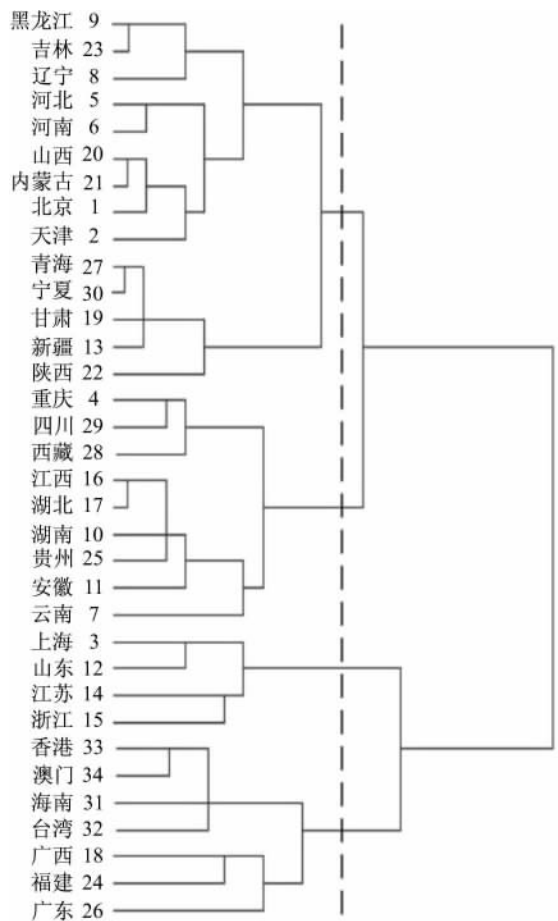


图 3 34 个省市的聚类分析图(虚线将 34 个省市划分为 4 组)

Fig. 3 Dendrogram of the 34 Provinces Based on the Distribution Patterns of Invasive Alien Animal (Dashed line divides 34 provinces into 4 types)

### 2.3 中国外来入侵动物分布格局的影响因素

主成分载荷矩阵(表 2)表明 F1 与人口密度的相关系数最大  $\alpha = 0.862$ ,则 F1 是反映人口密度的关键因子;F2 与各省中心纬度的相关系数最大  $\alpha = 0.750$ ,则 F2 是反映纬度的关键因子;F3 与交通里程总数和人口总数的相关系数最大分别为  $\alpha = 0.927$  和  $\alpha = 0.924$ ,则 F3 是反映人类活动中交通

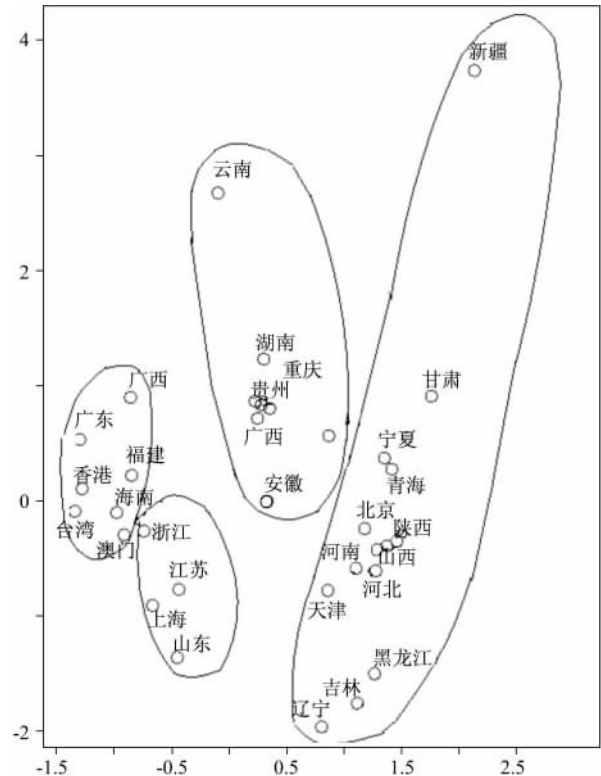


图 4 34 个省市在典范对应分析二维空间的排序图

Fig. 4 Results of CCA Ordination of 34 Provinces

里程总数和人口总数的关键因子;F4 和省年度国内生产总值、人均国内生产总值的相关系数最大,分别是  $\alpha = -0.361$  和  $\alpha = -0.341$ ,因而 F4 是反映国内生产总值变量的关键因子。

表 2 4 个主成分载荷矩阵表

Tab. 2 4 Principal Component Matrix

|      | 主成分 Component |        |        |        |
|------|---------------|--------|--------|--------|
|      | 1             | 2      | 3      | 4      |
| APP  | 0.703         | -0.531 | -0.046 | 0.145  |
| MT1  | 0.754         | -0.598 | -0.005 | -0.049 |
| MT7  | 0.787         | -0.083 | 0.134  | 0.325  |
| PAR  | -0.131        | 0.409  | -0.350 | 0.713  |
| LTD  | -0.609        | 0.750  | 0.050  | 0.046  |
| LGD  | 0.573         | 0.563  | -0.011 | 0.143  |
| MT   | 0.855         | -0.416 | 0.085  | 0.098  |
| F    | 0.708         | -0.036 | -0.040 | 0.135  |
| TPL  | 0.282         | 0.122  | 0.924  | 0.086  |
| PLD  | 0.862         | 0.179  | -0.215 | 0.172  |
| GDP  | 0.642         | 0.333  | 0.470  | -0.361 |
| aGDP | 0.860         | 0.249  | -0.327 | 0.009  |
| GDPp | 0.661         | 0.343  | -0.493 | -0.341 |
| VIC  | 0.770         | 0.499  | -0.002 | -0.161 |
| NFT  | 0.653         | 0.359  | 0.242  | -0.075 |
| TTP  | -0.053        | 0.068  | 0.927  | 0.204  |

经主成分载荷矩阵和主成分特征值(表 3)计算得出主成分分值,将外来入侵动物物种数量和主成

分纳入多元回归分析,结果表明(表 4)经向前逐步回归筛选后有 3 个变量进入回归方程,分别是 F1、F4、F2,即反映人口密度、国内生产总值和纬度因子的变量,其中人口密度因子解释了外来入侵动物物种数量分布全部变异的 64%,所以人口密度因子是决定外来入侵动物物种数量分布的主要因子。

表 3 4 个主成分的特征值和累计解释方差

Tab. 3 Eigenvalues and Cumulative of 4 Principal Components

| 主成分<br>Component | 特征值<br>Total | 方差贡献率<br>of Variance % | 累计方差贡献率<br>Cumulative % |
|------------------|--------------|------------------------|-------------------------|
| F1               | 7.065        | 44.154                 | 44.154                  |
| F2               | 2.588        | 16.174                 | 60.328                  |
| F3               | 2.543        | 15.892                 | 76.220                  |
| F4               | 1.045        | 6.529                  | 82.749                  |

表 4 外来入侵动物物种数量和环境因子及人类活动因子的逐步回归分析结果

Tab. 4 Results of Multiple Stepwise Regression Between NIS and Environmental and Anthropological Factors

| 回归<br>系数<br>B    | 标准误<br>Std.<br>Error | 标准化<br>系数<br>Beta | t 检验值  | T      | 显著性<br>水平<br>Sig. | 决定<br>系数<br>R <sup>2</sup> |
|------------------|----------------------|-------------------|--------|--------|-------------------|----------------------------|
| 常数<br>(Constant) | 42.382               | 1.386             |        | 30.568 | 0.000             |                            |
| F1               | 3.396                | 0.315             | 0.894  | 10.784 | 0.000             | 0.640                      |
| F4               | -6.064               | 1.382             | -0.350 | -4.388 | 0.000             | 0.754                      |
| F2               | 2.343                | 0.911             | 0.212  | 2.571  | 0.015             | 0.792                      |

第二次多元线性回归的应变量是外来入侵动物物种密度,经向前逐步回归筛选后有 3 个变量进入了回归方程,分别是 F1、F3、F2(表 5),即人口密度因子、交通里程总数和人口总数因子以及纬度因子,其中人口密度因子解释了外来入侵动物物种密度全部变异的 45.5%,因此人口密度因子是决定外来入侵动物物种密度分布的主要因子。

表 5 外来入侵动物物种密度和环境因子及人类活动因子的逐步回归分析结果

Tab. 5 Results of Multiple Stepwise Regressions Between ID and Environmental and Anthropological Factors

| 回归<br>系数<br>B    | 标准误<br>Std.<br>Error | 标准化<br>系数<br>Beta | t 检验值  | T      | 显著性<br>水平<br>Sig. | 决定<br>系数<br>R <sup>2</sup> |
|------------------|----------------------|-------------------|--------|--------|-------------------|----------------------------|
| 常数<br>(Constant) | 1.304                | 0.175             |        | 7.436  | 0.000             |                            |
| F1               | 0.361                | 0.040             | 0.729  | 9.093  | 0.000             | 0.445                      |
| F3               | -0.804               | 0.112             | -0.554 | -7.191 | 0.000             | 0.755                      |
| F2               | 0.341                | 0.115             | 0.237  | 2.963  | 0.006             | 0.804                      |

环境因子二维排序分析中,所示为 16 个自然环境因子和人类活动因子与一、二轴的关系,箭头表示

自变量因子,箭头连线的长短表示因子对各省外来入侵动物物种分布格局的影响强度,箭头连线在排序中的斜率表示自变量与排序轴的相关性大小,箭头所处象限表示因子与排序轴之间相关性的正负。典范对应分析结果显示,第一、二、三轴能解释外来入侵动物在中国各省物种组成变异的 38.1%。其中与轴一最相关的 3 个变量是一月平均气温( $r^2 = -0.884$ )、纬度( $r^2 = 0.860$ )、年平均降雨量( $r^2 = -0.765$ ),与轴二最相关的变量是经度( $r^2 = -0.787$ )、与轴三最相关的变量是人口总数( $r^2 = -0.546$ )、单位国土面积的 GDP( $r^2 = 0.468$ )。由图 5 可见,纬度是所有因子中对外来入侵动物物种组成影响最大的因子。

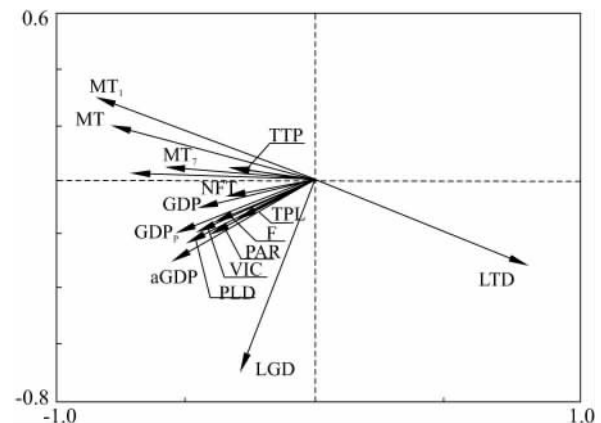


图 5 环境因子二维排序图(图中缩写字母同表 1)

Fig. 5 CCA Ordination for Environmental and Anthropological Factors(MT1、MT、APP、MT7、GDP、aGDP、GDPp、TPL、LGD、TTP、PAR、LTD、NIC、NFT、F、PLD; See Table 1)

### 3 讨论

中国已报道的外来 136 种入侵动物大多属于人为无意引入,无意引入是借助一些媒介完成,如远洋运输船只或物品携带等;同时已有研究表明外来入侵植物也是外来动物入侵的重要媒介,外来植物的入侵速度和入侵范围也直接影响到外来动物的入侵速度和范围<sup>[19,20]</sup>。无意引入外来动物可能导致本地物种被攻击甚至灭绝,严重破坏入侵地的生态系统<sup>[21]</sup>,如分布于我国江苏、浙江、安徽、广东、山东、湖北、重庆和贵州等地的松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*),是随进口货物的木质包装箱及携带的媒介天牛而无意引入的,已经导致成片松林死亡<sup>[22]</sup>。因此要想从根本上杜绝外来动物的入侵不仅

要加强对入侵动物的预测和控制,也必须加强海关入境物品的监管,减少外来入侵动物借助媒介入侵的现象,这是有效控制外来动物入侵的重要举措<sup>[5,22]</sup>。

外来入侵动物的物种数量和密度是两个不同意义的衡量指标,依据外来入侵动物物种数量指标会更有针对性地以省级为单位加强对入侵种的管理,而外来入侵动物物种密度则从大尺度区域把握密度变化的总体趋势,这对在今后研究入侵种有很大的预测和推广意义<sup>[7]</sup>。我国外来入侵动物在全国各省的数量和密度分布都呈现出由东南沿海向西北内陆减少的趋势,且外来入侵动物的物种数量和密度分布与各省纬度、人口密度等呈显著相关,其可能的原因是:(1)符合纬度与生物多样性呈负相关的生态学规律<sup>[7]</sup>,因为纬度变化会影响当地的有效积温,而有效积温是影响生物生存的关键因素<sup>[23]</sup>; (2)我国东部地区经济发展较快,人口密度较大,因而人类活动强度较大,无意或有意引入外来入侵动物的频率加大,导致外来入侵动物种数量较多;而西部地广人稀,人类活动频率低,因而外来入侵动物的数量较少<sup>[5,7,18,24,25]</sup>,进而影响了各省外来入侵动物物种密度的数量。此外国内生产总值与外来入侵动物物种数量在各省的分布呈显著相关,一个可能的解释为我国东南沿海各省国内生产总值较高,说明其与外界交流的频率较高,人类活动强度也较大,引入外来入侵动物的可能性较大<sup>[26]</sup>;同时,交通里程数量与外来入侵动物物种密度相关性显著,其主要是因为地形等多方面的原因使我国交通里程数量在东西部各省的差异很大,而交通因子在很大程度上影响了外贸和交通强度,这一方面会造成生境的破碎,另一方面是生物入侵的重要途径<sup>[5,24,27]</sup>,因而导致外来入侵动物物种密度分布的东西差异。

外来入侵动物物种空间分布格局主要受到纬度的影响,这说明在所选择的自然环境因子和人类活动因子中纬度对外来入侵动物的分布格局起着决定性作用,除此之外交通里程总数、人口密度、人均GDP、年平均降雨量等因素对外来入侵动物的分布格局也具有较大影响;从较大的区域而言纬度这一自然因子决定了外来入侵动物的分布态势,它的变化直接影响到了其它因子的变化,综合反映了各种环境因子的变化梯度<sup>[7]</sup>。而人类活动因子在局部范围内对外来入侵动物的影响显著,人类活动强度的大小直接影响了动物入侵的速度,在我国这样特殊的地域条件下人类活动因素的影响也更为明

显<sup>[2,5]</sup>。因此从大尺度上看我国外来入侵动物组成格局主要受纬度的影响,而从局部地区看人类活动因子则是主要的影响因素<sup>[7,28]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 万方浩,郑小波,郭建英主编.重要农林外来入侵种的生物学与控制[M].北京:科学出版社出版,2004.
- [2] 成新跃,徐汝梅.中国外来动物入侵概况[J].生物学通报,2004,42(9):1~4.
- [3] 吴虹玥,包维楷,王安.外来种入侵对乡土生物多样性的影响机制[J].长江流域资源与环境,2003,13(1):40~47.
- [4] 刘红霞,温俊宝.重视生物入侵的影响(下)[J].世界农业,2000,22(9):34~35.
- [5] 万方浩,谢丙炎,褚栋,等.生物入侵:管理篇[M].北京:科学出版社,2008.
- [6] 齐艳红,赵映慧,殷秀琴.中国生物入侵的生态分布[J].生态环境,2004,13(3):414~416.
- [7] 吴小雯,罗静,陈家宽,等.中国外来入侵植物的分布格局及其与环境因子和人类活动的关系[J].植物生物学报,2006,30(4):576~584.
- [8] 李洪燕,尹宏伟,赵建华.对我国动物入侵种及其危害的现状分析[J].哈尔滨学院学报,2004,25(5):138~140.
- [9] 高岚,赵铁珍.中国外来有害生物入侵的环境影响及举措[J].北京林业大学学报(社会科学版),2006,5(增刊):29~38.
- [10] HAI G X, SHENG Q, ZHENG M H, et al. The status and causes of alien species invasion in China[J]. Biodiversity and Conservation, 2006, 15(9): 2893~2904.
- [11] 郭 俊,徐来祥.入侵生物在我国的地理分布及危害[J].国土与自然资源研究,2004,2(26):82~83.
- [12] 缪绅裕,李冬梅.广东外来入侵物种的生态危害与防治对策[J].广州大学学报(自然科学版),2003,2(5):414~418.
- [13] 彭兆普,刘 勇,周忠实,等.湖南主要农林外来入侵生物及其防控措施[J].湖南农业科学,2008(3):104~107.
- [14] HODKINSON D J, THOMPSON K. Plant dispersal: The role of man. [J]. Journal of Applied Ecology, 1997, 34(6): 1 484~1 496.
- [15] WILLIAMSON M. Biological invasions[M]. London: Chapman and Hall, 1996.
- [16] LONSDALE W M, LANE A M. Tourist vehicles as vectors of weed seeds in Kakadu National Park, Northern Australia[J]. Biological Conservation, 1994, 69(3): 277~283.
- [17] 徐海根,强 胜主编.中国外来入侵物种编目[M].北京:中国环境科学出版社,2004.
- [18] 张国良,付卫东,刘 坤.农业重大外来入侵生物[M].北京:科学出版社,2008.
- [19] DANIEL S, BETSY V H. Positive interactions of nonindigenous species: Invasional meltdown[J]. Biological Invasions, 1999, 1(1): 21~32.
- [20] 陈伟烈,谢宗强,熊高明.三峡库区陆生植物迁地保存初报[J].长江流域资源与环境,2004,13(2):174~177.

- [21] 王海英,姚 旼,王传胜,等. 长江中游水生生物多样性保护面临的威胁和压力[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(5): 429~433.
- [22] 高增祥,季 荣,徐汝梅,等. 外来种入侵的过程、机理和预测[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 559~570.
- [23] ALPERT P, BONE E, HOLZAPFEL C. Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2000, 3(1): 52~66.
- [24] CARLTON J T, GELLER J B. Ecological roulette: Biological invasions and the global transport of nonindigenous marine organisms[J]. Science, 2004, 13(3): 414~416.
- [25] STEVENS K J, PETERSON R L, STEPHENSON G R. Morphological and anatomical responses of *Lythrum salicaria* purple looses trifetoanimposed water gradient[J]. International Journal of Plant Sciences, 1997, 158(2): 172~183.
- [26] WEN L, GUO F Z, XIN Y C, et al. Fast economic development accelerates biological invasions in China[J]. PLoS ONE 2(11): e1208. doi:10.1371/journal.pone.0001208.
- [27] 姚成芸,赵华荣,夏北成. 我国外来生物入侵现状与生态安全[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(增刊): 221~224.
- [28] XIE Y, LI Z Y, GREGG W P. Invasive species in China—an overview[J]. Biodiversity and Conservation, 2001, 10(8): 1317~1341.

## SPATIAL PATTERNS OF INVASIVE ALIEN ANIMALS IN CHINA AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL AND ANTHROPOLOGICAL FACTORS

WANG Shuang-ling<sup>1</sup>, LI Zhong-qiang<sup>1</sup>, WANG Zheng-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Meng<sup>2</sup>, XU Jun<sup>3</sup>,  
LIU Ren-hong<sup>4</sup>

(1. Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China; 2. Jiangxi Academy of Environmental Sciences, Nanchang 330029, China; 3. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;

4. Hubei Shashi Middle School, Shashi 434000, China)

**Abstract:** Biological invasions is one of the three most pressing environmental problems. The invasion of alien animal has caused biodiversity loss, ecological environmental damage and economic losses of China. But to our knowledge, factors influencing regional spatial patterns of these alien animals have not been studied in China, although China is a country heavily infested with these species. Thus, it is very important to clarify the pattern of spatial distribution and the influencing factors of invasive alien animals for further prediction and management. In order to explore the relationship between spatial patterns of invasive alien animals and environmental and anthropological factors, multiple stepwise regression and canonical correspondence analysis were used to determine the effects of environmental variables (including annual precipitation, mean temperature in January, mean temperature in July, annual mean temperature, area of province, latitude, longitude and percentage of forest cover) and anthropological factors (including total population, population density, values of annual gross production, GDP on unit area, GDP per capita, values of imported goods, number of foreign tourists and total of transport) on the number, density and spatial distribution of invasive alien animals of China. Results showed that there were 136 alien invasive animals recorded in China, among which insect was accounted for 56.6%. The invasive animals of China were mainly in the unintentional ways, accounting for 53.6% of the total invasive animal number. The results indicated that the number of invasive alien animals decreased from the southeast to the northwest, which was largely determined by latitude. Also, the density of invasive alien animals decreased from the southeast to the northwest, which was largely determined by the population density. Our study suggested that latitude and the population density were the main factors that significantly affected the spatial pattern of invasion alien animal at regional and local scale, respectively, in China. These findings may have important implications for the management of invasive animals.

**Key words:** spatial pattern; invasive animals; human impacts; population density; latitudinal gradient