

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

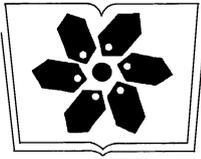
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第15期 Vol.32 No.15 **2012**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 15 期 2012 年 8 月 (半月刊)

## 目 次

|  |                      |
|--|----------------------|
| 放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响.....                       | 张艳博,罗 鹏,孙 庚,等 (4605) |
| 北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素.....                              | 王苏铭,张 楠,于琳倩,等 (4618) |
| 温带混交林碳水通量模拟及其对冠层分层方式的响应——耦合的气孔导度-光合作用-能量平衡模型 .....     | 施婷婷,高玉芳,袁凤辉,等 (4630) |
| 洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响 .....                            | 刘 娜,王克林,段亚锋 (4641)   |
| 大辽河口水环境污染生态风险评估.....                                   | 于 格,陈 静,张学庆,等 (4651) |
| 标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数 .....                        | 渠晓东,刘志刚,张 远 (4661)   |
| 不同年龄段大连群体菲律宾蛤仔 EST-SSR 多样性 .....                       | 虞志飞,闫喜武,张跃环,等 (4673) |
| 基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性 .....                      | 杨晓明,戴小杰,朱国平 (4682)   |
| 广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异.....                             | 武正军,戴冬亮,宁加佳,等 (4691) |
| 甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质.....                               | 魏 强,凌 雷,柴春山,等 (4700) |
| 短轮伐期毛白杨不同密度林分土壤有机碳和全氮动态.....                           | 赵雪梅,孙向阳,康向阳,等 (4714) |
| 放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响.....                        | 丁小慧,官 立,王东波,等 (4722) |
| UV-B 辐射增强对抗除草剂转基因水稻 CH <sub>4</sub> 排放的影响 .....        | 娄运生,周文麟 (4731)       |
| 基于核磁共振波谱的盐芥盐胁迫代谢组学分析.....                              | 王新宇,王丽华,于 萍,等 (4737) |
| 广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定.....                               | 胡春锦,林 丽,史国英,等 (4745) |
| 不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响.....                           | 安 辉,刘鸣达,王耀晶,等 (4753) |
| 大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征.....                             | 白爱芹,傅伯杰,曲来叶,等 (4762) |
| 川西北冷杉林恢复过程中土壤动物群落动态.....                               | 崔丽巍,刘世荣,刘兴良,等 (4772) |
| 内生真菌角担子菌 B6 对连作西瓜土壤尖孢镰刀菌的影响 .....                      | 肖 逸,戴传超,王兴祥,等 (4784) |
| 西江颗粒直链藻种群生态特征.....                                     | 王 超,赖子尼,李跃飞,等 (4793) |
| 大型人工湿地生态可持续性评价.....                                    | 张依然,王仁卿,张 建,等 (4803) |
| 孢粉、炭屑揭示的黔西高原 MIS3b 期间古植被、古气候演变 .....                   | 赵增友,袁道先,石胜强,等 (4811) |
| 树干径流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制 .....                          | 李从娟,雷加强,徐新文,等 (4819) |
| 豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系 .....              | 杨 宁,赵护兵,王朝辉,等 (4827) |
| 一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因.....                              | 刘义豪,宋秀凯,靳 洋,等 (4836) |
| 盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力.....                             | 王艳芳,沈永明 (4844)       |
| 城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田中心区为例.....                  | 邵天然,李超骅,曾 辉 (4852)   |
| 黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势.....                            | 王介勇,吴建寨 (4861)       |
| 重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数 .....                                  | 李爱民,邓合黎,马 琦 (4869)   |
| <b>专论与综述</b>   |                      |
| 干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展.....                           | 王新源,李玉霖,赵学勇,等 (4890) |
| 土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素.....                        | 栾军伟,刘世荣 (4902)       |
| 森林土壤甲烷吸收的主控因子及其对增氮的响应研究进展.....                         | 程淑兰,方华军,于贵瑞,等 (4914) |
| 湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展 .....                                  | 范俊楠,赵建伟,朱端卫 (4924)   |
| <b>研究简报</b>  |                      |
| 刈割对人工湿地风车草生长及污水净化效果的影响.....                            | 吕改云,何怀东,杨丹菁,等 (4932) |
| <b>学术信息与动态</b>   |                      |
| 全球气候变化与粮食安全——2012 年 Planet Under Pressure 国际会议述评 ..... | 安艺明,赵文武 (4940)       |

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 338 \* zh \* P \* ¥70.00 \* 1510 \* 35 \* 2012-08



封面图说: 水杉是中国特有种, 国家一级保护植物, 有植物王国“活化石”之称, 是 1946 年由中国的植物学家在湖北的利川磨刀溪发现的。水杉曾广泛分布于北半球, 第四纪冰期以后, 水杉属的其他种类全部灭绝, 水杉确在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存, 成为旷世奇珍。水杉耐水, 适应力强, 生长极为迅速, 其树干通直挺拔, 高大秀颀, 树冠呈圆锥形, 姿态优美, 枝叶繁茂, 入秋后叶色金黄。自发现后被人们在中国南方广泛种植, 成为著名的绿化观赏植物, 现在中国水杉的子孙已遍及中国和世界 50 多个国家和地区。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201201120064

王苏铭, 张楠, 于琳倩, 赵容慧, 郝鹏, 李景文, 姜英淑, 沙海峰, 刘义, 张志翔. 北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素. 生态学报, 2012, 32(15): 4618-4629.

Wang S M, Zhang N, Yu L Q, Zhao R H, Hao P, Li J W, Jiang Y S, Sha H F, Liu Y, Zhang Z X. Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4618-4629.

## 北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素

王苏铭<sup>1</sup>, 张楠<sup>1</sup>, 于琳倩<sup>1</sup>, 赵容慧<sup>1</sup>, 郝鹏<sup>1</sup>, 李景文<sup>1,\*</sup>,  
姜英淑<sup>2</sup>, 沙海峰<sup>2</sup>, 刘义<sup>1</sup>, 张志翔<sup>3</sup>

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 北京市林业种子苗木管理总站, 北京 100029; 3. 北京林业大学生物学院, 北京 100083)

**摘要:**为研究北京地区入侵植物扩散与分布规律,探讨影响入侵植物分布的驱动因子,对北京郊区 12 区县入侵植物分布情况进行了实地调查,分析了北京地区入侵植物的水平分布格局和其随海拔梯度的变化规律,并对影响入侵植物种数和分布的各类因子进行了相关分析。结果表明:北京地区共有外来入侵植物 47 种,不同区县入侵植物物种数量差别较大,通州、门头沟等外来入侵植物分布较多;并形成 3 个明显的集中分布区域。入侵植物在不同海拔高度都有分布,其数量随海拔梯度的变化规律表现出线形关系,低海拔区域 100—900 m 是外来入侵植物分布数量较多的海拔范围。通过对不同影响因子与入侵植物物种多度相关分析表明,进口额、一级公路密度与外来入侵植物数量显著负相关,而与林木覆盖率显著正相关,这些结论与入侵植物分布与扩散一般规律相悖,这与北京地区森林起源与以及人类活动对于植被干扰多样性和不确定性形成的景观破碎化有关,多样性干扰为更多植物入侵提供了可能性。入侵植物分布格局和多样性人为活动的干扰使其防控难度加大。

**关键词:**北京;入侵植物;分布;人类活动

## Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing

WANG Suming<sup>1</sup>, ZHANG Nan<sup>1</sup>, YU Linqian<sup>1</sup>, ZHAO Ronghui<sup>1</sup>, HAO Peng<sup>1</sup>, LI Jingwen<sup>1,\*</sup>, JIANG Yinghsu<sup>2</sup>, SHA Haifeng<sup>2</sup>, LIU Yi<sup>1</sup>, ZHANG Zixiang<sup>3</sup>

1 The Key Laboratory for Silviculture and Forest Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Forest Seed and Seedling Center of Beijing, Beijing 100029, China

3 Department of Biology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract:** We investigated the invasive plants in twelve districts and counties in Beijing to study the distribution patterns and their influencing factors of these invasive plants. Based on the GIS technology and the curve regression analysis, the horizontal and vertical distribution patterns of the invasive species were analyzed. The correlation analysis for the invasive species and influencing factors which include human activities and circumstance, were also carried out. The results showed that there are total 47 species of invasive plant species in Beijing. It included three types of invasives species, which include the officially announced invasive species, concerned species and controversial species. The most widely distributed species are *Amaranthus retroflexus*, *Pharbitis hederacea*, *Pharbitis purpurea*, *Bidens pilosa*, *Eleusine indica*, *Pharbitis nil*, *Rhus typhina*, *Robinia pseudoacacia*, and etc. Especially for *Ambrosia artemisiifolia* and *Ambrosia trifida*, which have posed huge threats to human health, exist in five investigated villages and towns. Moreover, there were significantly differences of amounts of these plants among twelve districts and counties. The invasive species have significantly spread much more in

基金项目:北京市园林绿化局重大项目(Z08050602970802);北京市重点学科资助项目

收稿日期:2012-01-12; 修订日期:2012-06-27

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijingwen@bjfu.edu.cn

Tongzhou、Miyun、Mentougou、Huairou、Fangshan and Yanqing. Three dispersal centers were apparently concentrate as follows: the area near Wuling Mountain and Yunmeng Mountain in northeast of Beijing; Xiayun Mountain and Shidu of Fangshan district and Fengtai district in the midwest of Beijing; and all villages and towns of Tongzhou in southeast of Beijing. At present, the invasive plants distribute widely in different altitudes while mainly distribute at 100—900m. Especially between 401m and 500m, which accounts for 21. The numbers of the invasive species along with the altitude fit the linear function. Along with the rise of altitude, the number of the invasive species tended to decline. The number and distribution range of invasive species in high degree human activity areas are higher and wider than in those of low degree human activity areas. Similarly, the distribution areas of the most invasive species in higher degree human activity were larger than the that of in low degree human activity areas. The correlation analysis of the number of the invasive plant species and some possible influencing factors revealed that the number of the invasive alien species are negatively related to the amounts of imports and first-class highway density, while positively related to the vegetation coverage rates. These phenomena might be opposite to the normal rules of the distribution and spread of the invasive species, but they could be explained by the potential influence of the origin of the forests and landscape fragmentation which caused by human activities diversity and its uncertainty in Beijing. The diverse disturbance supply that more habitat for more plants. The distribution pattern of invasive species and the various human activities might increase the difficulty in preventing and controlling the invasive plants.

**Key Words:** Beijing; invasive alien species; distribution; human activities

生物入侵常常被定义为“某种生物从原来的分布区域扩展到一个新的地区,在新的区域里,其后代可以繁殖、扩散并持续维持下去<sup>[1]</sup>”。外来种的入侵通过占据土著种原有生态位,形成优势种群,危及本地种群的生物多样性,其与乡土种的杂交往往会导致原有植物种群的遗传侵蚀,还可使入侵种具有乡土植物的基因,加强了入侵种在新的环境中的适应性,使生物区在基因、种类组成和功能上丧失其独特性,引发生物同质化<sup>[2-3]</sup>。同时,对人类产生巨大威胁,如豚草、三裂叶豚草、毒麦等<sup>[4-6]</sup>。北京作为中国的首都,近 30a 来经历的经济高速增长与快速城市化,增加了生物入侵的风险<sup>[7]</sup>。一般入侵植物扩散方式随人类活动足迹入侵。这说明环境的改变可能是造成入侵植物扩散的主要原因,但北京地区入侵植物扩散与分布规律是怎样的呢,主要驱动因子有那些呢?

目前对北京地区入侵植物的研究中,不同文献对入侵植物种的确定各不相同,刘全儒等<sup>[8]</sup>认为北京地区有外来入侵植物 91 种,其认定标准可能更倾向于归化种范畴<sup>[9]</sup>。彭程等<sup>[10]</sup>依据国家环境保护总局公布的首批外来入侵植物名录,确定北京地区入侵植物为 28 种。林秦文等<sup>[11]</sup>以北京植物志为入侵种确定依据,在野外调查中又发现了 3 种北京市外来入侵植物新种,并介绍了 19 种处于扩散中的入侵植物和 7 种已经严重入侵的外来种。杨景成等<sup>[9]</sup>采取严格的入侵种定义,参考中国入侵种名录,按其在北京的分布和实际危害状况,最终认定北京地区入侵植物 48 种。杨景成等<sup>[9]</sup>还提到了不同城市化水平地域内入侵种分布特征以及入侵植物密度与城市化水平、人口密度的相关性。这些文献都是对北京地区入侵植物的宏观分布情况、生物学特性、原产地、进入途径、危害、防治对策等几个方面进行有益的讨论。

但现有的文献中,还没有全面系统的讨论北京地区入侵植物种类及其分布格局、入侵植物分布影响因子研究资料,同时,对入侵植物分布格局的研究也只是集中在大尺度的区县水平分布上,没有考虑其在乡镇小尺度以及海拔上的分布规律。而研究不同海拔高度的物种入侵状况对于以山地为主体的北京地区外来入侵植物防治意义更大。本文在 3a 实地调查数据的基础上,通过研究入侵植物的不同空间尺度的分布格局,探讨北京地区入侵植物分布规律及其驱动因子,进而揭示大都市人类经济活动与生物入侵关系。在丰富入侵生态学理论的同时,为北京地区外来入侵植物扩散的防控、生物多样性保护与生态安全提供理论依据。

## 1 研究地概况

北京地区位于华北平原北端,北部与内蒙古高原相邻,处于平原与山地、高原的交接地带,特殊的地理位置决定了北京生态环境的脆弱性。自 1975 年以来,北京地区城市化迅猛发展,GDP 在几十年间增长了 137.6 倍,常住人口增加了 107.9%,现有建筑用地已经达到 3325.57 km<sup>2</sup>,占北京总面积的 20.3%。旅游业也迅猛发展,2009 年北京共接待外来游客 16669.5 万人次。2000 年之后,北京建设用地发展重点由建成区转移到远郊区县<sup>[12]</sup>,导致了远郊区县生境的破碎化。剧烈的人类活动给原本脆弱的生态环境增加了巨大的压力。北京地区原有植被也曾遭受严重破坏,几乎没有天然林的存在,现存森林多为人工林或次生林,分布在东灵山、百花山、云蒙山等地的亚高山草甸生态系统,近年来由于过度的旅游开发,也出现生态系统退化现象。此外,由于退耕还林和封山育林政策的影响,北京地区各类林地面积总量虽有少量增加,但林地总体质量水平却有下降趋势<sup>[13]</sup>。这些变化为入侵植物的进入、生存和扩张带来了有利条件,使得入侵植物在北京地区的分布范围快速扩张。

## 2 研究方法

### 2.1 调查方法

根据北京地区地形图和林相图,选择不同沟系,对山体不同海拔高度和坡位进行线路调查与典型样地调查,确定了北京地区 12 个区县的 91 个调查地(图 1),主要的林区和农区都是调查的重点区域。典型样地调查中样地设置为:乔木样地 20 m×20 m,在其中划分出 4 个 10 m×10 m 灌木样方;并在每个灌木样方中随机抽取 4 个 1 m×1 m 草本样方。记录的样地数据包括:群落类型、经纬度、海拔、坡向、坡位、坡度、郁闭度、总盖度(草本与灌木)、下木盖度、枯落物盖度、枯落物厚度、周边林型、干扰程度。记录样方内所有植物的种类、株数、胸径(乔木)、树高(乔木)、盖度(灌木与草本)、平均高度(灌木与草本)、生长状况(灌木与草本)、物候(草本)、分布情况。

线路调查中记录的数据包括:植物名称、地理坐标、海拔、多度、物候期、林型,重点调查北京地区高等植物的种类和地理分布。调查中海拔高度每以 100 m 为单位。

### 2.2 入侵植物种的确定

根据 2007—2009 年在北京地区野外调查的结果,国家环保部公布数据、相关学术文献<sup>[6,8-11]</sup>以及入侵植物的地域性特征,初步确定北京市外来入侵植物和有入侵倾向的植物(下文中入侵种均包含这两种含义),可分为三类。第一类为官方公布的入侵种,包括 2003 年和 2010 年国家环保总局分别公布的第一、二批外来入侵植物名单中北京地区的外来入侵种;第二类为需关注种,依据海关检疫局入侵植物名录和学术界认为在北京地区有入侵倾向的物种来确定;第三类为有争议种。

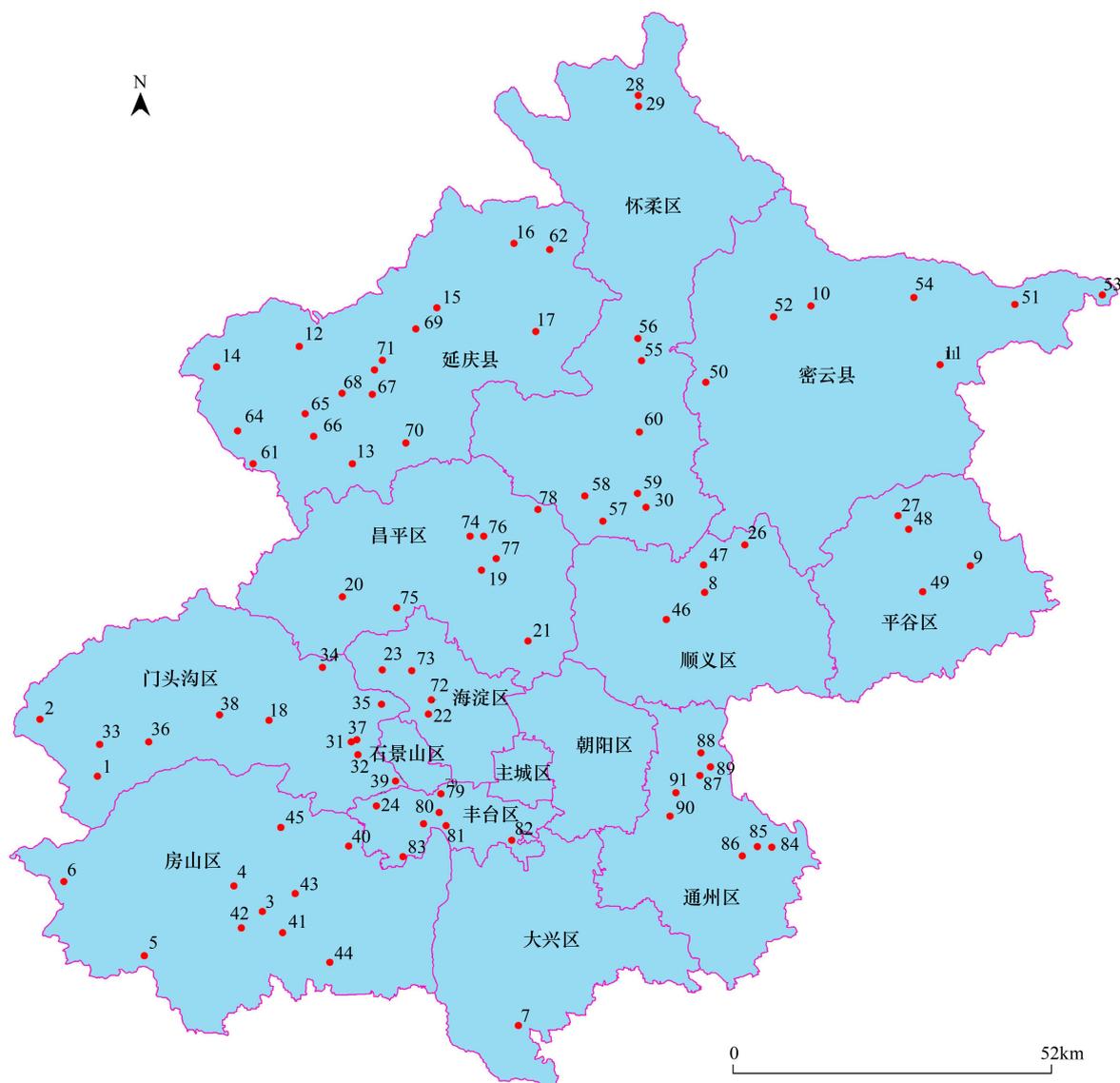
### 2.3 人类活动程度区的划分

决定外来入侵种分布的因素除了其生物学特性(即物种入侵力)之外,主要是人类活动程度和被入侵生态系统的环境特性两大类<sup>[14]</sup>。选择交通密度、一级交通密度、客运周转量、货运周转量、农用地占全区面积比、耕地占全区面积比、建设用地占全区面积比、常住人口密度、外来人口密度、旅游人数、交通运输、仓储和邮政业地区生产总值、农林牧渔业总产值、进口额这些反映人类活动程度的指标对北京郊区 12 区县进行聚类(图 2),并为其赋予 1、2、3、4 的评价值(1 代表最低程度,4 代表最高程度),其值的大小只是等级排序的依据,并不具有具体价值。12 区县被分为四类:门头沟、延庆、密云、怀柔为一类,赋值 1;房山、昌平、平谷为一类,赋值 2;通州、顺义、大兴为一类,赋值 3;丰台和海淀为一类,赋值 4。其中,除了房山、昌平、平谷、通州和丰台地形为平原外,余下区县均为山地。

### 2.4 入侵植物分布数据的处理

从区县和乡镇两个水平上,统计出入侵植物在区县和乡镇上的种类和丰富度,利用 ArcGIS 软件,做出了北京市入侵植物区县、乡镇水平分布图,用于研究水平分布特征。

在垂直方向上,对入侵植物物种分布与海拔高度进行回归分析;按不同干扰等级范围,对入侵植物在海拔



- |          |             |            |              |         |
|----------|-------------|------------|--------------|---------|
| 1 百花山    | 21 蟒山       | 41 周口店镇    | 61 妫水河       | 81 老庄子乡 |
| 2 东灵山    | 22 香山       | 42 张坊乡     | 62 下奶山       | 82 南苑乡  |
| 3 上方山    | 23 鹫峰       | 43 良乡      | 63 金牛湖       | 83 王佐乡  |
| 4 覆云岭    | 24 北宫国家森林公园 | 44 琉璃河镇    | 64 官厅水库      | 84 西集乡  |
| 5 十渡     | 25 卢沟桥      | 45 河北镇     | 65 康西草原      | 85 潭峪镇  |
| 6 蒲洼     | 26 唐指山水库    | 46 仁和地区    | 66 康庄镇       | 86 于家务  |
| 7 大兴古桑   | 27 西峪水库     | 47 杨镇地区    | 67 井庄镇       | 87 薊城镇  |
| 8 汉石桥水库  | 28 云雾山      | 48 熊儿寨乡四座楼 | 68 沈家营镇      | 88 宋庄镇  |
| 9 黄松峪    | 29 帽山       | 49 景台山     | 69 永宁镇       | 89 永顺乡  |
| 10 五座楼   | 30 怀柔水库     | 50 云蒙山     | 70 四海镇九眼楼风景区 | 90 太湖镇  |
| 11 云峰山   | 31 清水镇      | 51 新城子镇    | 71 白河黑河交界    | 91 梨园乡  |
| 12 玉渡山   | 32 永定镇      | 52 冯家峪镇    | 72 金山        |         |
| 13 八达岭林场 | 33 龙门涧乡     | 53 雾灵山     | 73 温泉        |         |
| 14 松山    | 34 妙峰山      | 54 司马台     | 74 十三陵镇      |         |
| 15 凤凰坨   | 35 军庄镇      | 55 汤河口镇    | 75 阳坊镇       |         |
| 16 莲花山   | 36 沿河城      | 56 长哨营乡    | 76 兴寿镇       |         |
| 17 大滩    | 37 龙泉镇      | 57 桥梓镇     | 77 南邵镇       |         |
| 18 落坡岭水库 | 38 王平地区     | 58 怀九河     | 78 大杨山森林公园   |         |
| 19 沟崖    | 39 漫水桥      | 59 慕田峪     | 79 小屯乡       |         |
| 20 虎峪    | 40 崇青水库     | 60 雁栖地区    | 80 长辛店       |         |

图 1 野外调查地点分布图

Fig.1 Distribution of survey sites

上的分布范围进行统计,比较其差异性。

### 2.5 入侵植物分布的相关分析

#### 2.5.1 入侵植物分布影响因子的选取与相关分析

在大的空间尺度范围内,入侵植物的分布格局是环境因子和人类活动共同作用的结果<sup>[14-15]</sup>。而在小尺度上,人类活动是影响外来入侵种分布和扩散的主要因素之一<sup>[16]</sup>,但是某些环境因子如地形、海拔等对入侵植物分布也应该有一定的影响。本文所选取的因子主要包含人类活动因素和环境因素两个方面,分为经济因素、受保护地类型、交通因素、土地利用类型、人口因素、环境因素五类。

为了找出对入侵植物种数作用最明显的各类因子,尽量选取了更多的变量进行相关分析,其中部分变量所包含的普遍含义或所代表的生物学意义有所重叠。运用 spss17.0 对所有变量与入侵植物种数进行单相关分析,找出某类变量(普遍含义或生物学意义有重复的同一类变量)中与入侵种数相关性最高指标。

### 3 结果分析

#### 3.1 北京地区外来入侵植物物种统计

北京地区现有外来入侵植物确定为 47 种(表 1),第一类官方公布的入侵种共有 3 种,分别是豚草、三裂叶豚草、刺苋(名单中共有 6 种,其中土荆芥、毒麦、假高粱 3 种调查中并未发现,这可能是由于本次调查没有在农田内进行,同时,北京地区目前几乎没有小麦和高粱的种植。因此,一些专家认为这三类入侵植物目前在北京可能也无分布);第二类需关注种共有 41 种。第三类有争议种共 3 种,分别为紫穗槐、火炬树和刺槐。

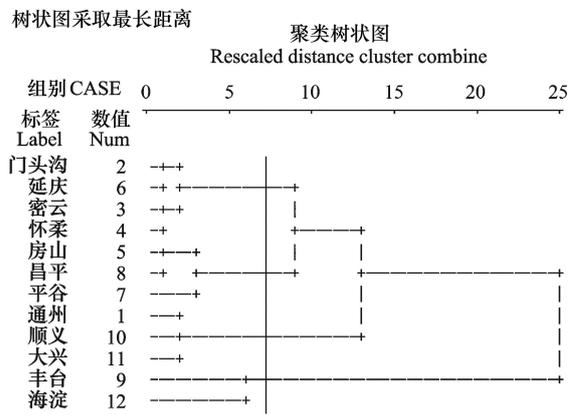


图 2 不同人类活动程度区划分图

Fig. 2 Division figure of different human activities

表 1 北京地区外来入侵植物组成情况

Table 1 Invasive Alien species in Beijing

| 物种<br>Species                       | 进入北京<br>地区时间<br>Duration<br>in Beijing | 备注<br>Notes            | 物种<br>Species                        | 进入北京<br>地区时间<br>Duration<br>in Beijing | 备注<br>Notes |
|-------------------------------------|--|------------------------|--------------------------------------|--|-------------|
| 豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i>   | 20a 以上                                 |                        | 三叶鬼针草** <i>Bidens pilosa</i>         | 20a 以上                                 |             |
| 三裂叶豚草 <i>Ambrosia trifida</i>       | 20a 以上                                 |                        | 牛筋草** <i>Eleusine indica</i>         | 50a 以上                                 |             |
| 刺苋 <i>Amaranthus spinosus</i>       | 20a 左右                                 |                        | 蓖麻** <i>Ricinus communis</i>         | —                                      |             |
| 土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i> | 50a 以上                                 | 目前仅在朝阳区花坛等地发现          | 牵牛** <i>Pharbitis nil</i>            | —                                      |             |
| 毒麦 <i>Lolium temulentum</i>         | 20a 以上                                 | 常在麦田混生,近年来北京较少种植小麦     | 麦蓝菜** <i>Vaccaria segetalis</i>      | 20a 以上                                 |             |
| 假高粱 <i>Sorghum halepense</i>        | 20a 以上                                 | 常在高粱田里混生,近年来北京高粱种植面积减少 | 杂配藜** <i>Chenopodium hybridum</i>    | 50a 以上                                 |             |
| 反枝苋* <i>Amaranthus retroflexus</i>  | 50a 以上                                 |                        | 通奶草** <i>Euphorbia hypericifolia</i> | —                                      |             |
| 苋* <i>Amaranthus tricolor</i>       | 50a 以上                                 |                        | 刺萼龙葵** <i>Solanum rostratum</i>      | 10a 以上                                 |             |
| 皱果苋* <i>Amaranthus viridis</i>      | 20a 以上                                 |                        | 美国商陆** <i>Phytolacca americana</i>   | 50a 以上                                 |             |
| 茼蒿* <i>Chrysanthemum coronarium</i> | —                                      |                        | 月见草** <i>Oenothera biennis</i>       | —                                      |             |
| 大麻* <i>Cannabis sativa</i>          | 50a 以上                                 |                        | 繁穗苋** <i>Amaranthus paniculatus</i>  | 50a 以上                                 |             |

续表

| 物种<br>Species                      | 进入北京<br>地区时间<br>Duration<br>in Beijing | 备注<br>Notes | 物种<br>Species                        | 进入北京<br>地区时间<br>Duration<br>in Beijing | 备注<br>Notes     |
|------------------------------------|--|-------------|--------------------------------------|--|-----------------|
| 小白酒草 * <i>Conyza canadensis</i>    | 40a 以上                                 |             | 大地锦 ** <i>Euphorbia nutans</i>       | 10a 以上                                 |                 |
| 辣子草 * <i>Galinsoga parviflora</i>  | 30a 以上                                 |             | 曼陀罗 ** <i>Datura stramonium.</i>     | 50a 以上                                 |                 |
| 菊苣 * <i>Helianthus tuberosus</i>   | 30a 以上                                 |             | 野燕麦 ** <i>Avena fatua.</i>           | 30a 以上                                 |                 |
| 孔雀草 * <i>Tagetes patula</i>        | —                                      |             | 尾穗苋 ** <i>Amaranthus caudatus</i>    | 40a 以上                                 |                 |
| 裂叶牵牛 * <i>Pharbitis hederacea</i>  | 40a 以上                                 |             | 凹头苋 ** <i>Amaranthus lividus</i>     | 40a 以上                                 |                 |
| 圆叶牵牛 * <i>Pharbitis purpurea</i>   | 30a 以上                                 |             | 大花牵牛 ** <i>Pharbitis limbata</i>     | 20a 以上                                 |                 |
| 芫荽 * <i>Coriandrum sativum</i>     | 50a 以上                                 |             | 斑地锦 ** <i>Euphorbia maculata</i>     | 20a 以上                                 |                 |
| 意大利苍耳 * <i>Xanthium italicum</i>   | 10a 以上                                 |             | 续断菊 ** <i>Sonchus asper</i>          | 50a 以上                                 |                 |
| 紫苜蓿 ** <i>Medicago sativa.</i>     | 50a 以上                                 |             | 密花独行菜 ** <i>Lepidium densiflorum</i> | 20a 以上                                 |                 |
| 白香草木樨 ** <i>Melilotus albus.</i>   | 50a 以上                                 |             | 苦苣菜 ** <i>Sonchus oleraceus</i>      | 40a 以上                                 |                 |
| 野西瓜苗 ** <i>Hibiscus trionum</i>    | 50a 以上                                 |             | 秋英 ** <i>Cosmos bipinnata</i>        | —                                      |                 |
| 紫茉莉 ** <i>Mirabilis jalapa .</i>   | 30a 以上                                 |             | 紫穗槐 *** <i>Amorpha fruticosa</i>     | —                                      |                 |
| 白车轴草 ** <i>Trifolium repens</i>    | 50a 以上                                 |             | 火炬树 *** <i>Rhus typhina</i>          | —                                      | 多沿道路扩散          |
| 北千里光 ** <i>Senecio dubitabilis</i> | —                                      |             | 刺槐 *** <i>Robinia pseudoacacia</i>   | 30a 以上                                 | 人工栽培,繁殖能力<br>力强 |

未标注的为官方公布的入侵种; \* 为在海关检疫局入侵植物名录中的物种; \*\* 为学术界认为北京地区有入侵倾向的物种; \*\*\* 为有争议种

### 3.2 北京地区主要入侵植物水平分布格局

北京市外来入侵植物区县分布情况如图 3。北京入侵植物水平上的广布种主要为反枝苋、裂叶牵牛、圆

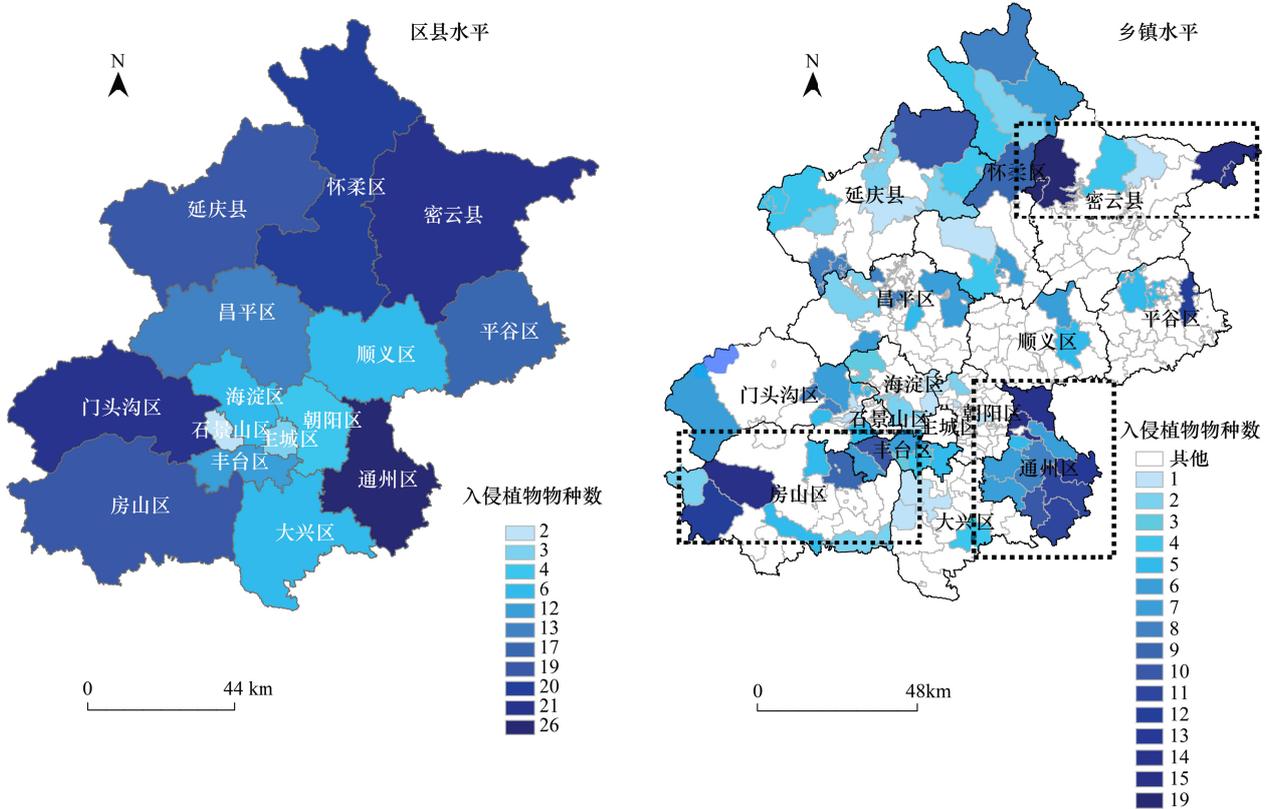


图 3 北京市入侵植物数量梯度图

Fig. 3 Dispersal gradient of invasive alien species in Beijing

叶牵牛、三叶鬼针草、牛筋草、牵牛、火炬树、刺槐等；而外来入侵植物分布种类数最多的区县是通州，为 26 种，其次是怀柔、密云、延庆、门头沟、房山，它们入侵植物种类数比较接近。特别是门头沟区，在所调查的 5 个乡镇都有豚草、三裂叶豚草这两种恶性入侵植物存在，应加以重点防治。

在乡镇水平上入侵植物形成 3 个明显的集中分布区域(图 3)：一是东北部密云的雾灵山和云蒙山附近区域，二是中西部房山的霞云岭、十渡和丰台区，三是东南部通州的各个乡镇。

### 3.3 北京地区主要入侵植物垂直分布格局

#### 3.3.1 总体上的情况

一般认为，北京平原地区的海拔基本低于 100 m<sup>[19-20]</sup>，因此，本文对垂直分布格局的统计均为最高海拔在 100 m 以上山地，其入侵植物在海拔上的分布数据。可以看出海拔 100—900 m 是外来入侵植物种类分布较多的海拔区间，其中 401—500 m 区间入侵植物种类分布最高，有 21 种。

通过对不同海拔段入侵植物数量进行回归分析中的曲线回归，从回归图(图 4)可以明显地看出：随着海拔的升高入侵植物种类分布总体呈现出下降趋势。

#### 3.3.2 不同人类活动程度下的情况

(1)不同人类活动程度下入侵种随海拔分布情况，如下图 5 结合人类活动程度区的划分(图 2)可知，图 5 中人类活动强度 4 所代表的曲线是海淀区入侵植物分布情况，其入侵植物种数最少，海拔分布上限也最低。人类活动强度 1 曲线所代表的是门头沟、延庆、密云、怀柔四区县入侵植物海拔分布数据，分布规律呈二次曲线模式，在海拔 500 m 左右入侵植物种数达到最高，分布上限在 1600 m 处。强度 2 曲线反映的是房山、昌平、平谷 3 区县的数据，其变化也与强度 1 曲线类似，但在任一海拔段入侵植物的种数都高于强度 1 曲线，海拔分布上限在 1800 m 处，也高于强度 1 曲线。

#### (2)不同干扰等级下入侵种海拔分布

在干扰等级为 4 的山地，其山体最高海拔较低，限制了入侵植物继续向上发展，不能完全展示入侵植物海拔上的分布，因此仅选取干扰等级 1 和 2 的山地来进行比较。选取在这两个区域均有出现的同一入侵种，共 19 种，对其在这两种干扰等级下的海拔分布进行对比(图 6)，图中 1 和 2 分别代表人类干扰强度 1 和强度 2。显然，除了 3 种入侵植物外，余下入侵种在干扰强度更高的区域海拔分布范围更广。

### 3.4 影响因素的相关分析

#### 3.4.1 入侵植物种数与分布影响因子的相关分析结果

分布影响因子的相关分析(表 2)显示，进口额与入侵植物种数是显著负相关。一级交通密度与入侵植物种数呈显著负相关，是所有因子中与入侵植物种数相关性最大的指标。林木覆盖率与入侵植物种数是显著正相关。单位面积农林牧渔业总产值、耕地占全区面积

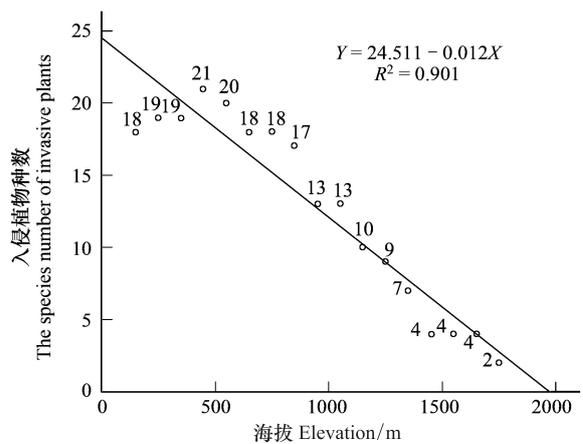


图 4 入侵植物物种分布与海拔高度的关系

Fig. 4 Relationship of number of Alien invasive plants and altitude grandients

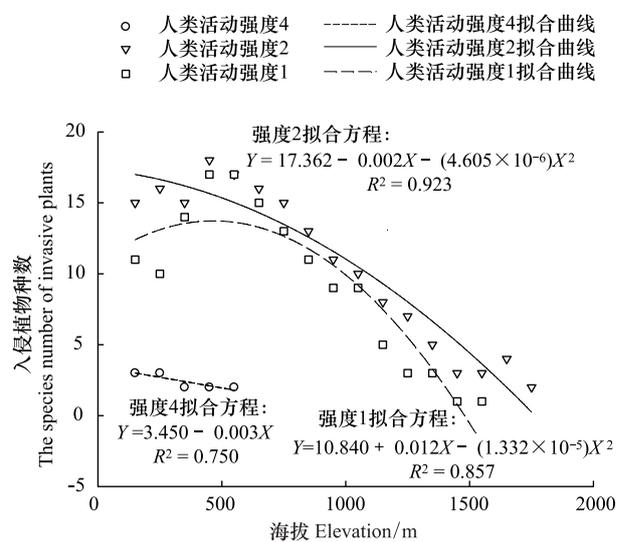


图 5 不同人类活动程度下入侵种随海拔变化图

Fig. 5 The number of invasive plants variation along altitude gradient under different human activities

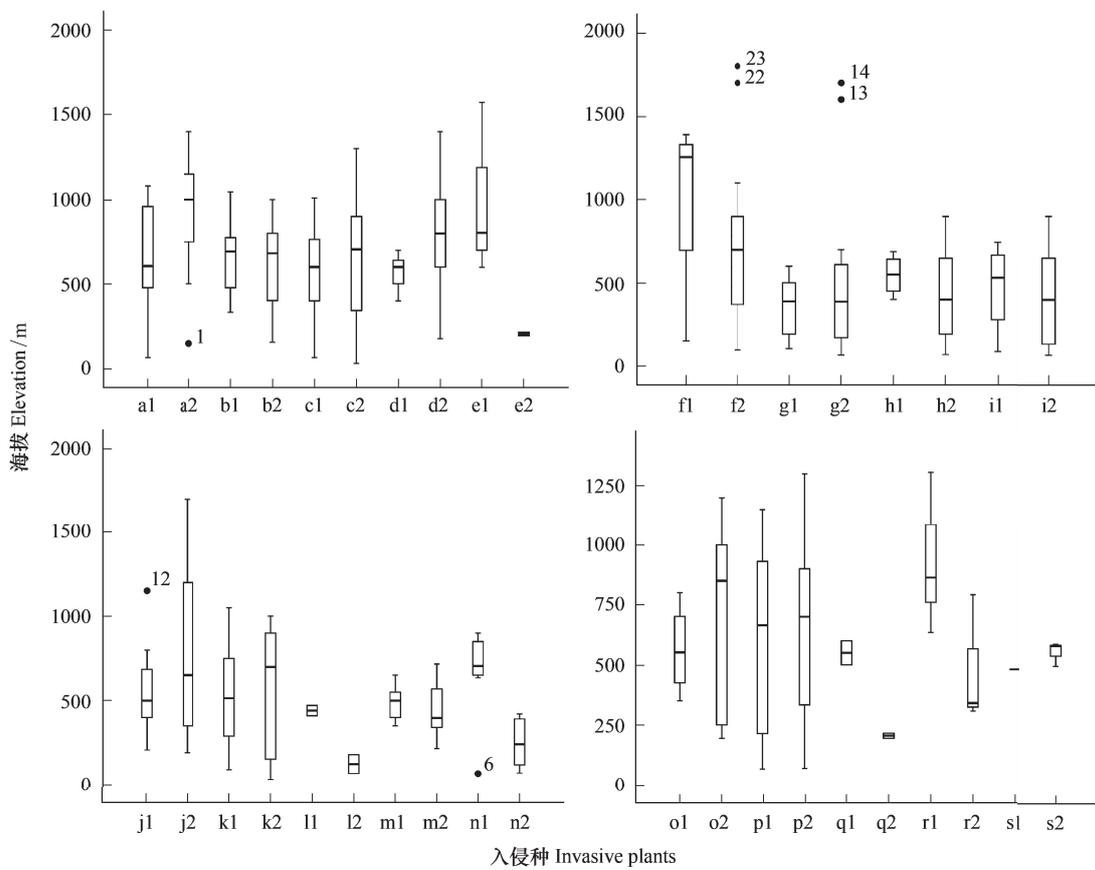


图6 同一入侵种不同干扰等级下海拔分布对比图

Fig.6 The altitude distribution of the same invasive plants variation under different human activities

a 白香草木樨 *Melilotus albus*. ;b 刺槐 *Robinia pseudoacacia* ;c 反枝苋 *Amaranthus retroflexus* ;d 火炬树 *Rhus typhina* ;e 苦苣菜 *Sonchus oleraceus* ;f 辣子草 *Galinsoga parviflora* ;g 裂叶牵牛 *Pharbitis hederacea* ;h 曼陀罗 *Datura stramonium*. ;i 牛筋草 *Eleusine indica* ;j 牵牛 *Pharbitis nil* ;k 三叶鬼针草 *Bidens pilosa* ;l 通奶草 *Euphorbia hypericifolia* ;m 苋 *Amaranthus tricolor*. ;n 小白酒草 *Conyza canadensis* ;o 野西瓜苗 *Hibiscus trionum* ;p 圆叶牵牛 *Pharbitis purpurea* ;q 月见草 *Oenothera biennis* ;r 杂配藜 *Chenopodium hybridum*. ;s 紫穗槐 *Amorpha fruticosa*

比、建设用地占全区面积比均与入侵植物种数呈负相关关系,而受保护区域总面积、自然保护区面积、风景名胜区分区面积、天然林占土地面积比例这4个指标均与入侵植物种数呈正相关。

#### 4 结论与讨论

北京地处平原与山地的交接地带,地理位置较为特殊。此外,悠久的开发历史,使得人类活动对北京地区生态系统的群落结构以及分布有着深刻的影响。相关历史资料显示,自辽金以来,受大面积的砍伐、长期的垦种放牧以及战乱等影响,北京植被受破坏极其严重,现存各种植被多为次生。近年来,受经济的高速发展和人为主观调控的影响,人类活动对北京地区土地覆盖类型变化的作用更为明显,如平原区农业用地向城镇用地的转化和山区灌丛向林地的转化<sup>[19]</sup>。一些相关文献<sup>[8,10]</sup>研究表明绝大多数入侵植物很早就已经进入了北京地区。由于封山育林和植树造林等措施的实行,北京地区森林面积在波动中持续增加<sup>[19]</sup>,但林地的总体质量水平却有所下降<sup>[13]</sup>。北京植被的这种恢复过程可能也给外来入侵种的生长带来了有利条件。以上的这些特殊性,导致了北京地区外来入侵植物分布的特殊性。

##### 4.1 总体分布规律

本文统计了北京地区12区县记录的外来入侵植物,共计47种,主要分布在位于通州和各远郊区县。这与杨景成等<sup>[9]</sup>的研究结果不同,他认为目前北京入侵植物主要分布于农田、绿地、花圃等半人工生态系统中。本文调查的侧重点在林区和平原区野外分布的入侵种,对城市绿地、花圃等调查不多,这可能是两个结果差别很大的原因。

表 2 入侵植物种数与各类影响因子的相关性

Table 2 Relationship between the number of invasive plants and impact factors

| 变量<br>Variables   | Pearson 相关性<br>Pearson<br>Correlation | 显著性<br>(双侧)<br>Sig.<br>(2-tailed) | 变量<br>Variables  | Pearson 相关性<br>Pearson<br>Correlation | 显著性<br>(双侧)<br>Sig.<br>(2-tailed) |
|---|---------------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 经济因素 Economic factors   |                                       |                                   | 交通因素 Traffic factors                                     |                                       |                                   |
| 交通运输、仓储和邮政业地区生产总值/土地面积 GDP of Transportation, Storage, Posts / Land area/ (10 <sup>4</sup> 元/km <sup>2</sup> )        | -4.59×10 <sup>-1</sup>                | 0.155                             | 一级公路密度 First-class road density/(km/100km <sup>2</sup> ) | -0.893 **                             | 0                                 |
| 地方环境保护财政支出/土地面积 Local environmental protection expenditure / Land area/(10 <sup>4</sup> 元/km <sup>2</sup> )           | -4.95×10 <sup>-1</sup>                | 0.121                             | 客运周转量 Passenger person-kilometres/(10 <sup>4</sup> t·km) | -5.84×10 <sup>-1</sup>                | 0.059                             |
| 环境保护财政支出增速(2007—2008) Local environmental protection expenditure growth/%   | -0.628 *                              | 0.039                             | 货运量 Volume of freight transport/(10 <sup>4</sup> t)      | -5.09×10 <sup>-1</sup>                | 0.11                              |
| 地方交通运输财政支出/土地面积 Local Transportation expenditure/ Land area/(10 <sup>4</sup> 元/km <sup>2</sup> )                      | -4.95×10 <sup>-1</sup>                | 0.122                             | 土地利用类型 Land use type                                     |                                       |                                   |
| 交通运输财政支出增速(2007—2008) Local Transportation expenditure growth/%   | 0.012                                 | 0.972                             | 农用地占全区面积比 Agricultural land area ratio/%                 | 0.53                                  | 0.093                             |
| 农林牧渔业总产值/土地面积 Agriculture, Forestry, Animal Husbandry and Fishery GDP/ Land area/(10 <sup>4</sup> 元/km <sup>2</sup> ) | -0.603 *                              | 0.05                              | 耕地占全区面积比 Farmland area ratio/%                           | -0.608 *                              | 0.047                             |
| 农林牧渔业总产值增速(2007—2008) Agriculture, Forestry, Animal Husbandry and Fishery GDP growth/%                                | 0.393                                 | 0.232                             | 建设用地占全区面积比 Construction land area ratio/%                | -0.719 *                              | 0.013                             |
| 林业总产值 Forestry GDP/(10 <sup>4</sup> 元)  | 0.443                                 | 0.173                             | 人口因素 Population factors                                  |                                       |                                   |
| 进口额 Imports(10 <sup>4</sup> US dollars)   | -0.788 **                             | 0.004                             | 常住人口密度 Permanent population density/(人/km <sup>2</sup> ) | -5.52×10 <sup>-1</sup>                | 0.078                             |
| 受保护地类型 Protected land type  |                                       |                                   | 外来人口密度 Foreign population density/(人/km <sup>2</sup> )   | -5.90×10 <sup>-1</sup>                | 0.056                             |
| 受保护区总面积(保护区、森林公园、风景名胜保护区) The protected area (Reserve, forest park, scenic)/hm <sup>2</sup>                           | 0.719 *                               | 0.013                             | 旅游人数(人次) Tourist (person-time)                           | 0.484                                 | 0.131                             |
| 自然保护区面积 Reserve area/hm <sup>2</sup>  | 0.634 *                               | 0.036                             | 环境因素 Environmental factors                               |                                       |                                   |
| 森林公园面积比例 Forest park area ratio/%   | -2.56×10 <sup>-1</sup>                | 0.447                             | 平原林木覆盖面积 vegetation coverage area/km <sup>2</sup>        | -0.653 *                              | 0.029                             |
| 风景名胜区面积 Scenic area/hm <sup>2</sup>   | 0.604 *                               | 0.049                             | 人工林面积 Artificial forestry area/km <sup>2</sup>           | 0.431                                 | 0.186                             |
|   |                                       |                                   | 人工林占土地面积比例 Artificial forestry area ratio/%              | -2.61×10 <sup>-1</sup>                | 0.438                             |
|   |                                       |                                   | 天然林面积 Natural forest area/km <sup>2</sup>                | 0.511                                 | 0.108                             |
|   |                                       |                                   | 天然林占土地面积比例 Natural forest area ratio/%                   | 0.709 *                               | 0.015                             |

研究入侵植物的分布格局,入侵种本身的生物学特性、人类活动和环境特征是必不可少的3个因素。人类干扰对植物入侵到一个新的地区起着重要作用,但不一定是决定入侵植物分布格局的主要因子<sup>[23]</sup>,干扰假说解释了入侵种进入过程中人类活动所起的这一作用;而定居与扩散除了入侵植物自身的生物学特性外,受环境因子影响更大<sup>[29,25]</sup>,资源机遇假说、生态位机遇假说等假说都认为侵入生境所具有的可利用资源、物理环境等对植物入侵起重要作用<sup>[24]</sup>。

刘健等<sup>[30]</sup>对中国入侵植物区域分布模式的研究发现,在考虑到自然环境和社会经济因素的情况下,入侵植物物种丰富度与社会经济因素如人口密度和GDP密切相关,但自然条件对入侵种的丰富度也有重要影响,其分布是二者共同作用的结果。而Weber<sup>[31]</sup>等对中国入侵植物的研究发现,省级尺度上入侵植物密度与本地植物密度具有很高的相关性,这也能说明优越的自然条件对外来植物的入侵有促进作用。吴晓雯<sup>[14]</sup>等在省级空间单位上探讨了自然环境因子和人类活动强度对入侵植物分布的影响,发现入侵植物种数变化主要受自然环境因子影响,而入侵植物密度变化主要是人类活动强度不同造成的,自然环境因子和人类活动强度从不同方面对入侵植物的分布产生影响。可见,并非干扰程度越大,植物入侵程度越剧烈,受干扰生境的生物和非生物环境也具有重要影响。

## 4.2 入侵植物水平分布特征

入侵植物的水平分布结果显示通州入侵植物种数最多,其次是各个远郊区县(图3)。通州入侵植物种数多可能是由其所处的地理位置决定的。此外,东北部密云的雾灵山和云蒙山以及中西部房山的霞云岭和十渡(图3),其入侵植物数量要远高于周边区域,这两处均为北京地区旅游热点地,可能是旅游活动对入侵植物分布的促进作用。由聚类分析(图2)将北京12区县分为4类,从整体上来看:人类活动程度低的区县,其入侵植物分布反而越多。这种分布格局与以往的研究结果相悖,可能原因:1)有研究表明,人类干扰对植物入侵到一个新的地区起着重要作用,但入侵植物的分布格局是各类影响因子综合作用的结果<sup>[29]</sup>。北京长期遭受强烈的人类干扰,入侵植物早已经进入北京各处(表1),因此,环境因子成为影响入侵植物分布的首要因素。2)相比于干扰较大的平原区,山区在海拔100—800 m段生境破碎化程度最高,在此段海拔范围内外来入侵植物分布数量较多,这对水平上的入侵植物种数有大的贡献,可能是造成山区入侵植物种类分布较多的原因之一。3)资源机遇假说、生态位机遇假说等假说都认为侵入生境所具有的可利用资源、物理环境等对植物入侵起重要作用<sup>[24]</sup>,显然,山区自然环境条件要优于其他区域。

## 4.3 入侵植物分布于海拔高度的关系

人类活动带来的土地利用类型的变化与植物入侵之间的关系是明显的。在土地利用类型变化的过程中导致的生境破碎化,使得一些入侵种可通过边缘向内部入侵<sup>[32]</sup>。Ross等<sup>[29]</sup>研究发现,森林破碎化会使得大、小斑块栖息地中乡土物种丰富度降低而外来物种丰富度增加,并且在小斑块栖息地中,乡土物种丰富度随时间而降低。而吴晓莆等<sup>[19]</sup>对北京土地覆盖动态的研究发现:在海拔100—800 m段生境破碎化程度是最高的。本文的研究结果显示,入侵植物垂直分布格局,总体上(图4)表现出线性规律,在海拔100—900 m之间是外来入侵植物分布数量较多范围。这与生境破碎化程度的变化是一致的。因此,剧烈的人类干扰导致的生境破碎化,可能是导致入侵植物在海拔上呈现出这种分布格局的原因。

而不同人类活动程度下入侵种在海拔上的分布(图5):人类活动强度4所代表的曲线海拔分布的上限最低,入侵植物数量也最少。这可能有两点原因,一是受山体高度所限,海淀区山地均为低山;二是调查地数量少。对比强度1和强度2这两个曲线显示:在自然环境条件和生境破碎化程度比较接近的区域,人类干扰强度对入侵植物海拔分布有一定的影响。对同一入侵种不同干扰等级下海拔分布(图6)的对比也符合这一规律。

## 4.4 入侵植物散播与分布的影响因素

相关分析的结果表明(表2),一级交通密度、进口额、林木覆盖率与入侵植物种数相关性最大,其中一级交通密度和进口额与入侵植物种数呈显著负相关,林木覆盖率与入侵植物种数是显著正相关。一般认为,无论在大尺度上还是较小范围内,交通密度对外来种的入侵都是有促进作用的<sup>[14,26,27]</sup>,道路使得入侵种更易进入<sup>[22]</sup>,而且其修建及维护过程中,还为入侵种提供了空生态位;此外,还会导致其附近小气候和微环境的改变,使部分乡土种受到胁迫,入侵种的定居更为容易<sup>[28]</sup>。而进口额对入侵植物的分布也有较大作用。进口额与人口密度有一定的相关关系<sup>[16]</sup>,人口密度越大,则人类活动频率越高,干扰对环境产生的影响也会越大。研究表明,进口额是解释入侵种发生面积的重要因子,进口额数量越高,入侵种发生面积越多<sup>[16]</sup>。Montserrat等<sup>[21]</sup>对欧洲和北非一些国家入侵植物的研究发现,进口额是解释入侵植物密度的最重要参数之一。而林木覆盖率反映的是当地的植被状况,Levine的研究发现<sup>[33]</sup>,在局域尺度上,物种多样性减少,对入侵的抗性降低。因此,林木覆盖率高的地方,入侵植物数量应该越少。

本文的研究结果与入侵植物分布与扩散一般规律相悖:凡是反映人类干扰的因子,其与入侵植物分布多为负相关,反映自然环境的因子与其则多为正相关,这并非是说明在北京地区人类活动对入侵种具有抑制作用,可能是因为某些具有更为优越的资源环境条件的受干扰生境更适合入侵植物生长。而具有优越环境的生境,人类活动强度相对较低,导致了这样的表现形式。因此,一级交通密度、进口额和林木覆盖率表现出与入侵植物的这种相关性,应该并非这3个因子本身的作用。同时,可能与北京地区植被的起源和干扰的多样性

有关。北京地区植被覆盖率很高(37.5%),但多为次生林(53.49%)和人工林(25.09%),容易受到外来植物的入侵;另一方面,由于目前北京地区山区农田、经济林、旅游、道路等干扰的多样性,造成环境的破碎化和异质性斑块镶嵌分布的景观格局,为多种入侵植物的进入提供了机会。因此,北京地区入侵植物受到多种因素的综合作用,呈现出和其他地理区域入侵植物分布不同扩散特性,表现在不是沿着某一特定干扰梯度扩散的蚕食性蔓延,而是由多种影响因子作为驱动力的多点或面的爆炸性扩散格局。因此,北京地区的外来植物防治与去除的工作是非常困难的。

本文对入侵植物影响因子的研究,只考虑了人类活动和环境因素的影响,没有考虑物种自身特性的作用。实际上,入侵种的一些生物学特性(主要包括资源利用效率、表型可塑性、化感作用、繁殖特性等几个方面)也对分布有重要影响<sup>[34]</sup>。在我国,最具克隆生长习性的植物入侵危害最大<sup>[35]</sup>。此外,资源利用效率、表型可塑性、化感作用等对入侵植物个体生存有意义重大。例如,植物生长发育受环境影响非常大,且整个生活周期都可以进行形态建成,使得入侵植物的表型可塑性对入侵力的影响也极为明显<sup>[36]</sup>。

本文重点分析入侵植物及其分布的影响因素。但每一物种单位面积的个体数也是衡量入侵程度的重要指标,能显示出对当地物种的威胁程度,这一点以后的研究中应加以分析。

## References:

- [ 1 ] Elton C S. The Ecology of Invasion by Animals and Plants. London: Methuen, 1958.
- [ 2 ] Wang G M, Yang J C, Jiang C D, Zhao H T, Zhang Z D. A literature review on biotic homogenization. Biodiversity Science, 2009, 17(2): 117-126.
- [ 3 ] Li B, Li Y Y. The interaction between invasive and native species in the biological invasion. Sichuan Environment, 2009, 28(1): 64-67.
- [ 4 ] Huang B H. An investigation of distribution and harm of *artemisifolia* in China. Plant Quarantine, 1985, (1): 62-65.
- [ 5 ] Jiang C M, Qu X C, Liu X J. Distribution, harm and propagating characteristics of *ambrosia trifida*. Journal of Mudanjiang Teachers College, 1999, (2): 23-24.
- [ 6 ] Li Z Y, Xie Y. Invasive Alien Species in China. Beijing: Forestry Press, 2002: 347-365.
- [ 7 ] Peng Y, Liu X H. Research progress in effects of urbanization on plant biodiversity. Biodiversity Science, 2007, 15(5): 558-562.
- [ 8 ] Liu Q R, Yu M, Zhou Y L. A preliminary study on the invasive plants in Beijing. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2002, 38(3): 399-404.
- [ 9 ] Yang J C, Wang G M, Jiang C D, Zhao H T, Zhang Z D. Ecological characters and distribution of invasive plants under the influence of urbanization in Beijing, China. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(5): 1857-1862.
- [ 10 ] Peng C, Su M, Zhou W L, Wang S M, Li J W, Wang L. Composition characteristics of alien species and distribution of invasive alien species in Beijing. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32(1): 29-35.
- [ 11 ] Lin Q W, Xing S H, Ma K. New materials of alien plants in Beijing. Journal of Beijing University of Agriculture, 2009, 24(4): 42-44.
- [ 12 ] Zhao W, Gong H L, Li X J, An W. Research on land use change during urbanization in suburbs of Beijing. Journal of Agricultural University of Hebei, 2008, 31(2): 101-105.
- [ 13 ] Fan X B, Gao J X. Quantity and quality evolving on woodland in Beijing from 1985—2000 Based on GIS. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(1): 148-150, 155-155.
- [ 14 ] Wu X W, Luo J, Chen J K, Li B. Spatial patterns of invasive alien plants in China and its relationship with environmental and anthropological factors. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(4): 576-584.
- [ 15 ] Rose M, Hermanutz L. Are boreal ecosystems susceptible to alien plant invasion? Evidence from protected areas. Oecologia, 2004, 139(3): 467-477.
- [ 16 ] Chen Z W, Yang J P, Wang R Z, Shang H W. Spatial distribution pattern of *Solidago canadensis* in Zhejiang Province and its relationship with anthropogenic activities. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 120-129.
- [ 17 ] Statistical Bureau of Beijing, NBS Survey Office in Beijing. Beijing Statistics Yearbook 2008. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [ 18 ] Statistical Bureau of Beijing, NBS Survey Office in Beijing. Beijing Regional Statistics Yearbook 2008. Beijing: Beijing Tongxin Press, 2008.
- [ 19 ] Wu X P, Tang Z Y, Cui H T, Fang J Y. Land cover dynamics of different topographic conditions in Beijing. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(2): 239-251.
- [ 20 ] Institute of Botany and Institute of Zoology, CAS. Study on the Biology and Ecology in Tianjin and Beijing Region. Beijing: Marine Press: 1-14.
- [ 21 ] Vilà M, Pujadas J. Land-use and socio-economic correlates of plant invasions in European and North African countries. Biological Conservation, 2001, 100(3): 397-401.
- [ 22 ] Gao Z X, Ji R, Xu R M, Xie B Y, Li D M. Biological invasions: process, mechanism and prediction. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(3): 559-570.
- [ 23 ] Wu S H, Sun H T, Teng Y C, Rejmánek M, Chaw S M, Yang T Y A, Hsieh C F. Patterns of plant invasions in China: taxonomic, biogeographic, climatic approaches and anthropogenic effects. Biological Invasions, 2010, 12(7): 2179-2206.

- [24] Shea K, Chesson P. Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 2002, 17(4): 170-176.
- [25] Gao M, Hu R Y, Chen X X, Li W C, Ding B Y. Effects of disturbance, topography, and soil conditions on the distribution of invasive plants in Wenzhou. *Biodiversity Science*, 2011, 19(4): 424-431.
- [26] Zhang S, Guo S L, Guan M, Yin L P, Zhang R X. Diversity differentiation of invasive plants at a regional scale in China and its influencing factors: according to analyses on the data from 74 regions. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(16): 4241-4256.
- [27] Feng J M, Xu C D. Spatial distribution pattern of alien plants in Yunnan Province and its relationship with environmental factors and Human Activities. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2009, 30(8): 78-83.
- [28] Li Y H, Hu Y M, Li X Z, Xiao D N. A review on road ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3): 447-452.
- [29] Ross K A, Fox B J, Fox M D. Changes to plant species richness in forest fragments: fragment age, disturbance and fire history may be as important as area. *Journal of Biogeography*, 2002, 29(5/6): 749-765.
- [30] Jian L, Liang S C, Liu F H, Wang R Q, Dong M. Invasive alien plant species in China: regional distribution patterns. *Diversity and Distributions*, 2005, 11(4): 341-347.
- [31] Weber W, Sun S G, Li B. Invasive alien plants in China: diversity and ecological insight. *Biological Invasions*, 2008, 10(8): 1411-1429.
- [32] Ren H, Zhang Q M, Peng S L, Shen W J, Li Z A, Li G F. The interaction between plant invasion and other global change factors. *Tropical Geography*, 2002, 22(3): 275-278.
- [33] Levine J M. Species diversity and biological invasions: relating local process to community pattern. *Science*, 2000, 288(5467): 852-854.
- [34] He J Y, Xie C Q. Application of the reproductive biology on the research of the invasive alien plant. *Journal of Inner Mongolia Normal University: Natural Science Edition*, 2009, 38(2): 217-221.
- [35] Huang Q Q. Patterns of Plant Invasions in China: Role of Species Traits, Environment and Human Activities [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2009.
- [36] Gong W N, Wan F H, Xie B Y, Guo J Y. Phenotypic plasticity and adaptability of the invasive alien species. *Plant Protection*, 2009, 35(4): 1-7.

#### 参考文献:

- [2] 王光美, 杨景成, 姜闯道, 赵洪涛, 张志东. 生物同质化研究透视. *生物多样性*, 2009, 17(2): 117-126.
- [3] 李冰, 李玉瑛. 生物入侵中入侵种与土著种的相互作用. *四川环境*, 2009, 28(1): 64-67.
- [4] 黄宝华. 豚草在国内的分布及危害调查. *植物检疫*, 1985, (1): 62-62.
- [5] 姜传明, 曲秀春, 刘祥君. 三裂叶豚草的分布、危害和传播特点. *牡丹江师范学院学报*, 1999, (2): 23-24.
- [6] 李振宇, 解焱. 中国外来入侵种. 北京: 中国林业出版社, 2002: 347-365.
- [7] 彭羽, 刘雪华. 城市化对植物多样性影响的研究进展. *生物多样性*, 2007, 15(5): 558-562.
- [8] 刘全儒, 于明, 周云龙. 北京地区外来入侵植物的初步研究. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2002, 38(3): 399-404.
- [9] 杨景成, 王光美, 姜闯道, 赵洪涛, 张志东. 城市化影响下北京市外来入侵植物特征及其分布. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1857-1862.
- [10] 彭程, 宿敏, 周伟磊, 王苏铭, 李景文, 王玲. 北京地区外来植物组成特征及入侵植物分布. *北京林业大学学报*, 2010, 32(1): 29-35.
- [11] 林秦文, 邢韶华, 马坤. 北京市外来入侵植物新资料. *北京农学院学报*, 2009, 24(4): 42-44.
- [12] 赵威, 宫辉力, 李小娟, 安炜. 北京市郊城市化过程土地利用变化研究. *河北农业大学学报*, 2008, 31(2): 101-105.
- [13] 范小杉, 高吉喜. GIS支持下1985—2000年北京林地数量、质量演变与驱动分析. *水土保持研究*, 2008, 15(1): 148-150, 155-155.
- [14] 吴晓雯, 罗晶, 陈家宽, 李博. 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. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 576-584.
- [16] 陈志伟, 杨京平, 王荣洲, 商晗武. 浙江省加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 的空间分布格局及其与人类活动的关系. *生态学报*, 2009, 29(1): 120-129.
- [17] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京统计年鉴 2008. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [18] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京区域统计年鉴 2008. 北京: 北京同心出版社, 2008.
- [19] 吴晓蕾, 唐志尧, 崔海亭, 方精云. 北京地区不同地形条件下的土地覆盖动态. *植物生态学报*, 2006, 30(2): 239-251.
- [20] 中国科学院植物研究所, 中国科学院动物研究所. 京津地区生物生态学研究. 北京: 海洋出版社, 1990: 1-41.
- [22] 高增祥, 季荣, 徐汝梅, 谢宝瑜, 李典谟. 外来种入侵的过程、机理和预测. *生态学报*, 2003, 23(3): 559-570.
- [25] 高末, 胡仁勇, 陈贤兴, 李伟成, 丁炳扬. 干扰、地形和土壤对温州入侵植物分布的影响. *生物多样性*, 2011, 19(4): 424-431.
- [26] 张帅, 郭水良, 管铭, 印丽萍, 张若妍. 我国入侵植物多样性的区域分异及其影响因素——以 74 个地区数据为基础. *生态学报*, 2010, 30(16): 4241-4256.
- [27] 冯建孟, 徐成东. 云南省外来植物空间分布格局与环境因子和人类活动的关系. *西南大学学报: 自然科学版*, 2009, 30(8): 78-83.
- [28] 李月辉, 胡远满, 李秀珍, 肖笃宁. 道路生态研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 447-452.
- [32] 任海, 张倩媚, 彭少麟, 申卫军, 李志安, 李高飞. 植物入侵与其它全球变化因子间的相互作用. *热带地理*, 2002, 22(3): 275-278.
- [34] 贺俊英, 谢彩琴. 繁殖生物学特性在外来入侵植物入侵性中的意义. *内蒙古师范大学学报: 自然科学汉文版*, 2009, 38(2): 217-221.
- [35] 黄乔乔. 外来植物在中国的入侵模式: 物种特性、环境因子、人类活动的作用 [D]. 浙江: 浙江大学, 2009.
- [36] 宫伟娜, 万方浩, 谢丙炎, 郭建英. 表型可塑性对外来入侵植物的适应性. *植物保护*, 2009, 35(4): 1-7.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 15 August, 2012 (Semimonthly)  
CONTENTS

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau ..... ZHANG Yanbo, LUO Peng, SUN Geng, et al (4605)

Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing ..... WANG Suming, ZHANG Nan, YU Linqian, et al (4618)

Simulation of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O fluxes over temperate mixed forest and sensitivity analysis of layered methods: stomatal conductance-photosynthesis-energy balance coupled model ..... SHI Tingting, GAO Yufang, YUAN Fenghui, et al (4630)

Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area ..... LIU Na, WANG KeLin, DUAN Yafeng (4641)

Integrated water risk assessment in Daliao River estuary area ..... YU Ge, CHEN Jing, ZHANG Xueqing, et al (4651)

Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity ..... QU Xiaodong, LIU Zhigang, ZHANG Yuan (4661)

Genetic diversity analysis of different age of a Dalian population of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* by EST-SSR ..... YU Zhifei, YAN Xiwu, ZHANG Yuehuan, et al (4673)

Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) purse seine catch in the western Indian Ocean ..... YANG Xiaoming, DAI Xiaojie, ZHU Guoping (4682)

Seasonal differences in habitat selection of the Crocodile lizard (*Shinisaurus crocodilurus*) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong ..... WU Zhengjun, DAI Dongliang, NIN Jiajia, et al (4691)

Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu ..... WEI Qiang, LING Lei, CHAI Chunshan, et al (4700)

Dynamics of soil organic carbon and total nitrogen contents in short-rotation triploid *Populus tomentosa* plantations ..... ZHAO Xuemei, SUN Xiangyang, KANG Xiangyang, et al (4714)

Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mongolia ..... DING Xiaohui, GONG Li, WANG Dongbo, et al (4722)

Effect of elevated ultraviolet-B (UV-B) radiation on CH<sub>4</sub> emission in herbicide resistant transgenic rice from a paddy soil ..... LOU Yunsheng, ZHOU Wenlin (4731)

NMR spectroscopy based metabolomic analysis of *Thellungiella salsuginea* under salt stress ..... WANG Xinyu, WANG Lihua, YU Ping, et al (4737)

Screening and identification of associative nitrogen fixation bacteria in rhizosphere of sugarcane in Guangxi ..... HU Chunjin, LIN Li, SHI Guoying, et al (4745)

Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities ..... AN Hui, LIU Mingda, WANG Yaojing, et al (4753)

The characteristics of soil microbial communities at burned forest sites for the Great Xingan Mountains ..... BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (4762)

Changes of soil faunal communities during the restoration progress of *Abies faxoniana* Forests in Northwestern Sichuan ..... CUI Liwei, LIU Shirong, LIU Xingliang, et al (4772)

The effects of the endophytic fungus *Ceratobasidium stevensii* B6 on *Fusarium oxysporum* in a continuously cropped watermelon field ..... XIAO Yi, DAI Chuanchao, WANG Xingxiang, et al (4784)

Population ecology of *Aulacoseira granulata* in Xijiang River ..... WANG Chao, LAI Zini, LI Yuefei, et al (4793)

Evaluation of ecosystem sustainability for large-scale constructed wetlands ..... ZHANG Yiran, WANG Renqing, ZHANG Jian, et al (4803)

MIS3b vegetation and climate changes based on pollen and charcoal on Qianxi Plateau ..... ZHAO Zengyou, YUAN Daoxian, SHI Shengqiang, et al (4811)

The effects of stemflow on the formation of "Fertile Island" and "Salt Island" for *Haloxylon ammodendron* Bge ..... LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (4819)

Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area ..... YANG Ning, ZHAO Hubing, WANG Zhaohui, et al (4827)

Occurrence characteristics of *akashiwo sanguinea* bloom caused by land source rainwater ..... LIU Yihao, SONG Xiukai, JIN Yang, et al (4836)

Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve ..... WANG Yanfang, SHEN Yongming (4844)

Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China ..... SHAO Tianran, LI Chaosu, ZENG Hui (4852)

Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta ..... WANG Jieryong, WU Jianzhai (4861)

The diversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing ..... LI Aimin, DENG Heli, MA Qi (4869)

**Review and Monograph**

Responses of soil respiration to different environment factors in semi-arid and arid areas ..... WANG Xinyuan, LI Yulin, ZHAO Xueyong, et al (4890)

Temperature sensitivity of soil respiration: uncertainties of global warming positive or negative feedback ..... LUAN Junwei, LIU Shirong (4902)

The primary factors controlling methane uptake from forest soils and their responses to increased atmospheric nitrogen deposition: a review ..... CHENG Shulan, FANG Huajun, YU Guirui, et al (4914)

The research progresses on biological oxidation and removal of nitrogen in lakes ..... FAN Junnan, ZHAO Jianwei, ZHU Duanwei (4924)

**Scientific Note**

Cutting effects on growth and wastewater purification of *Cyperus alternifolius* in constructed wetland ..... LÜ Gaiyun, HE Huaidong, YANG Danjing, et al (4932)

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 15 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 15 (August, 2012)

|                       |  |                        |   |
|-----------------------|--|------------------------|---|
| <b>编 辑</b>            | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | <b>Edited by</b>       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel: (010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>Shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| <b>主 编</b>            | 冯宗炜  | <b>Editor-in-chief</b> | FENG Zong-Wei   |
| <b>主 管</b>            | 中国科学技术协会   | <b>Supervised by</b>   | China Association for Science and Technology  |
| <b>主 办</b>            | 中国生态学学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085  | <b>Sponsored by</b>    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                  |
| <b>出 版</b>            | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100071   | <b>Published by</b>    | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100071, China   |
| <b>印 刷</b>            | 北京北林印刷厂  | <b>Printed by</b>      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China  |
| <b>发 行</b>            | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100071<br>电话:(010)64034563<br>E-mail: journal@espg.net                         | <b>Distributed by</b>  | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100071, China<br>Tel: (010)64034563<br>E-mail: journal@espg.net   |
| <b>订 购</b>            | 全国各地邮局   | <b>Domestic</b>        | All Local Post Offices in China   |
| <b>国外发行</b>           | 中国国际图书贸易总公司<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044   | <b>Foreign</b>         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China   |
| <b>广告经营<br/>许 可 证</b> | 京海工商广字第 8013 号   |                        |   |



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元