

北京外来入侵植物的演变、分布特征及影响因素

胡璐祎^{1,2}, 张渊媛^{2,3*}, 原雪姣¹, 杨 峥^{2,3}, 钟震宇^{2,3}, 白加德^{2,3}, 桑卫国^{1*}

¹中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; ²北京生物多样性保护研究中心, 北京 100076;

³北京麋鹿生态实验中心, 北京 100076

摘要:【目的】北京外来入侵植物问题尤其突出,但其入侵和扩散的时空规律、影响因素尚不清楚,给制定相关管理措施带来挑战。本研究旨在厘清入侵植物在北京的动态规律及社会经济影响因素,为制定应对措施,有效防治外来入侵植物侵害提供信息和技术支撑。【方法】基于已有文献、专著和相关数据库信息,重新构建了北京外来入侵植物数据库,分析北京外来入侵植物的构成特征、入侵特点及危害,采用GIS、SPSS 相关软件分析外来入侵植物的时间演变、空间分布特点,并与社会经济变量进行相关性分析。【结果】(1)北京外来入侵植物共 101 种,菊科植物最多;以一年生草本植物为主;原产地主要是美洲;主要入侵途径是人类活动造成的有意和无意引入;传播扩散活动多数依赖结实量大的特点;均会挤占本地种生态位;超过 1/5 属于国家重点关注防控的外来入侵植物;(2)不同时间阶段年均植物入侵数量具有极显著差异,经历了低、高和稳定 3 个阶段,入侵植物累计种数与历史事件累计次数、人口、货运量等社会经济因素呈极显著正相关;(3)空间分布格局中丰富度分布和密度分布的热点地区不同,入侵植物密度与常住人口密度、绿化覆盖率呈极显著相关。【结论】北京入侵植物的演变和分布特征除了受其自身入侵性的限制外,还受到社会经济发展及城市化等人类活动因素的影响,应预防、控制、消灭三管齐下,综合治理。

关键词: 北京; 外来入侵植物; 时空动态; 驱动因素; 对策



开放科学标识码
(OSID 码)

Evolution, distribution characteristics and influencing factors of alien invasive plants in Beijing

HU Luyi^{1,2}, ZHANG Yuanyuan^{2,3*}, YUAN Xuejiao¹, YANG Zheng^{2,3},
ZHONG Zhenyu^{2,3}, BAI Jiade^{2,3}, SANG Weiguo^{1*}

¹College of Life and Environment Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China; ²Beijing Biodiversity Conservation Research Center, Beijing 100076, China; ³Beijing Milu Ecological Research Center, Beijing 100076, China

Abstract: 【Aim】Invasion by alien plants is a prominent phenomenon in Beijing. However, the spatial and temporal patterns of this invasion and the factors influencing the diffusion of invasive plants in Beijing remain unclear, which poses a challenge to the formulation of relevant management measures. This study aimed to clarify the dynamic rules and socioeconomic factors characterizing invasive plants in Beijing to gain informational and technical insights with which to formulate countermeasures to effectively prevent and control invasive plants. 【Method】Based on the existing literature, monographs, and related database information, a database of alien invasive plants in Beijing was constructed, from which we analyzed the composition, invasion characteristics, and negative effects of each alien invasive plants. Furthermore, the temporal pattern and spatial distribution were examined and analyzed for correlations with social and economic variables influencing invasiveness using the GIS and SPSS software. 【Result】A total of 101 species of alien invasive plants in Beijing were found and analyzed. Compositae was the dominant family, with most specimens being annual herbs native to the America. The main routes of invasion were found to be either intentional or accidental introductions caused by human activities. Propagation and diffusion activities mostly depended on the abundance of seeds and the wind dispersal of seeds beyond human control. The specimens were found to compete by occupying the niches of local species. More than one-fifth of the alien invasive plants were the focus of national prevention and control. 【Conclusion】The changes and distribution of invasive plants in

收稿日期(Received): 2023-06-30 接受日期(Accepted): 2024-01-09

基金项目: 北京市财政项目(11000022T000000440602)

作者简介: 胡璐祎, 女, 硕士研究生。研究方向: 入侵生态学。E-mail: huluyi1011@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), 张渊媛, E-mail: zyy@milupark.org.cn; 桑卫国, E-mail: swg@muc.edu.cn

Beijing were not only found to be limited by their own invasive characteristics, but were also markedly affected by human activities related to social and economic development and urbanization. These findings underlie the importance of preventing further introductions and either eliminating or controlling established invasions in a more comprehensive manner.

Key words: Beijing; alien invasive species; spatial-temporal dynamics; driving factor; countermeasures

外来生物入侵已被公认为是造成全球生物多样性丧失的第二大因素(Keane & Crawley, 2002), 成为 21 世纪五大全球性环境问题之一(李惠茹等, 2022)。绝大多数国家, 如美国(Fantle-Lepczyk *et al.*, 2022)、澳大利亚(黄波等, 2022)、日本(Watari *et al.*, 2021), 包括中国(陈宝雄等, 2020; 洗晓青等, 2022; 中华人民共和国生态环境部, 2022)在内都受到严重的外来生物入侵影响, 对当地的经济、社会、生物多样性及人类健康构成严重威胁。研究表明, 各个国家或地区的入侵生物种类中, 入侵植物的数量均为最高(Pysek *et al.*, 2020)。北京是中国对外交往的窗口, 且与天津和河北省的沿海城市接壤, 是外来生物到达的前沿口岸, 外来植物入侵问题尤其突出。全国尺度的生物入侵相关研究表明, 除了东南沿海等生物入侵多发地外, 北京市入侵植物形势最为严峻(闫小玲等, 2012, 2014)。

近年来, 关于北京入侵植物的研究主要集中在两方面: 一是调查和分析外来入侵植物的种类组成、原产地等信息, 并在此基础上划分入侵级别(崔夏等, 2022)、总结入侵途径和危害(石青等, 2017)、讨论防治对策(王惠惠等, 2014); 二是研究外来入侵植物分布特征及影响因素, 包括对北京 10 个区县入侵植物分布的研究(海云瑞等, 2020), 结合海拔梯度, 分析北京郊区 12 区县入侵植物的水平分布格局、变化规律及影响因子(王苏铭等, 2012)。

目前, 结合入侵时间对北京入侵植物的时间动态分析的研究较少, 对北京市入侵植物时空动态及其驱动因素的分析也较模糊, 这为制定有针对性的外来入侵植物防治措施带来挑战。为厘清北京入侵植物的构成特征、入侵特点及危害、时空动态规律及其影响因素, 本研究调查了北京外来入侵植物种的种类、生活型、原产地、入侵途径、入侵扩散特性及危害, 并关注防控程度、入侵时间、空间分布等信息, 归纳入侵植物的共性特征, 同时结合社会经济影响因子探究入侵植物的时空动态及其驱动因素, 为防控外来入侵植物扩散、保护北京生物多样性、维护区域生态安全提供理论依据和信息支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京市位于 39°28′—41°05′N, 115°20′—117°30′E, 地处华北平原北端, 全市总面积 16400 km², 山区面积 10200 km², 约占总面积的 62%, 整体地势西北高、东南低。属于暖温带半湿润半干旱季风气候, 四季分明, 年度降水集中在夏季, 气候条件适于多种植物生长, 是外来植物的入侵和扩散适合区域(海云瑞等, 2020; 石青等, 2017)。土地利用类型上, 林地集中在西部, 建筑用地等集中在中部, 耕地集中在东部。

1.2 数据调查与处理

在中国知网(<https://www.cnki.net/>)、万方(<https://www.wanfangdata.com.cn/>)、维普(<http://www.cqvip.com/>)和 Web of Science (<https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>)等数据平台以“外来入侵植物”或“入侵植物”“北京”或“京津冀”为检索词, 搜集近 20 a 来关于北京外来入侵植物的文献资料, 汇总文献中明确提及为“入侵植物”的植物种及已知的分布地区、原产地和入侵途径信息。由《中国植物志》(www.iplant.cn/frps)、《中国外来入侵植物志》(马金双, 2020)获取植物种的科、属和生活型信息, 对原产地、入侵途径、入侵扩散特性及危害等信息进行补充和校对; 由生态环境部(<https://www.mee.gov.cn/>)获取国家林业和草原局、农业农村部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、海关总署六部门共同发布的《重点管理外来入侵物种名录》(以下简称《重点名录》)、“中国外来入侵物种名单”(共四批)(以下简称“四批名单”)对外来入侵植物的关注防控程度进行调查; 结合中国国家标本资源平台(<http://www.nsii.org.cn>)、中国植物图像库(<http://ppbc.iplant.cn>)对分布区信息进行补充。

入侵植物种的确定: 鉴于部分文献中植物种仅记录了中文名, 根据“中国外来入侵物种信息系统”中入侵植物的中文名和俗名进行统一。同时, 为确保汇总的入侵植物种无重复项, 以学名为筛选重复

物种的唯一依据。对于同一物种的“入侵”定性可能存在争议,有学者将其归为入侵种(刘全儒等, 2002),另有学者将其归为归化种或逸生植物(崔夏等, 2022; 肖翠等, 2022),对照《北京植物志》(贺士元等)、《中国外来入侵植物名录》(马金双和李惠茹, 2018)、《中国外来入侵植物志》(马金双, 2020),若其中有记载,非中国原产或建议排除类,且表现出一定的入侵性的,则予以保留。茼蒿 *Glebionis coronaria* (L.) Cass. ex Spach、蛇目菊 *Sanvitalia procumbens* Lam.、孔雀草 *Tagetes patula* L.、野牛草 *Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm.) 梯牧草 *Phleum pratense* L.、黑麦 *Secale cereale* L.、凤仙花 *Impatiens balsamina* L.、紫穗槐 *Amorpha fruticosa* Linn. 经考证偶有逸生或归化,未发现入侵现象;黑心金光菊 *Rudbeckia hirta* L.、苦苣菜 *Sonchus oleraceus* L.、天芥菜 *Heliotropium europaeum* L. 的定性存在争议,上述 3 类植物视为非入侵植物,本文不予统计。

生活型分类方法参照林秦文等(2022),结合本研究实际物种共分为 7 类:一年生草本、多年生草本、藤本植物、肉质植物、灌木、乔木和水生植物。

原产地划分为美洲、欧洲、亚洲、地中海地区和非洲 5 个地区,对于美洲起源的划分参照崔夏等(2022)的三分方法,分为北美洲、南美洲及热带美洲起源,另鉴于地中海地区是欧洲、非洲和亚洲大陆之间的一块区域,因此将其单独划分。

入侵途径按照引入方式分为自然扩散、无意引进和有意引进 3 种方式。

入侵植物危害参照 Hao & Ma (2023) 的研究,结合北京入侵植物实际情况,分为 7 类:竞争;杂交;疾病传播;具毒性;生物污染;对生态系统的物理、化学或结构影响;减少农业产量和危害景观。

入侵植物的入侵时间:按照明确记载的引入时间、最早的文献记载时间、最早的标本采集时间(采集地在中国境内)等 3 个时间标准搜集入侵时间信息。其中,对于明确记载的入侵种引入时间在地方志、地方报道等材料中进行考证并录入;无明确记载引入时间的入侵种,比较其最早的文献记载时间和标本采集时间,择早录入。汇总不同入侵时间的入侵植物种数,得到入侵种数随时间的变化情况。

入侵时间阶段:入侵时间追溯到公元 100 年,并按照重要历史事件年限节点进行划分,共分为 7 个阶段:①古代(—1022 年),入侵时间超过 1000

a;②古代(1022—1840 年),入侵时间不超过 1000 a;③近代后(1840—1911 年);④民国后(1911—1949 年);⑤建国后(1949—1979 年);⑥改革开放后(1979—2000 年);⑦21 世纪后(2000 年—)。为便于对不同阶段入侵植物种数进行量化对比,将未记载植物入侵的年份入侵植物种数近似视为 0。

入侵植物在北京的空间分布:按照行政区划进行空间划分,共计 16 个区,即海淀区、延庆区、房山区、密云区、门头沟区、丰台区、怀柔区、昌平区、顺义区、东城区、朝阳区、平谷区、大兴区、通州区、西城区和石景山区。因资料记录不完整未能给出具体分布区,仅说明在北京有分布,记录为无具体分布地点。统计分布区明确植物种的分布信息,得到北京各区入侵植物种数及密度。

驱动因素:时间尺度上,近代之前的社会经济数据较难获得,且准确性难以保证,故选择③~⑦阶段的年历史事件次数、年历史事件累计次数、人口、产业产值和货运量等社会经济因素指标进行相关性分析。空间尺度上,选择北京 16 个区的人口、地区生产总值、耕地面积等指标进行相关性分析。数据来源于北京市统计局北京统计年鉴(<http://tjj.beijing.gov.cn/>)。

1.3 统计分析

共对入侵植物种的 9 项信息进行分析。在 Excel 中分析北京外来入侵植物种类、生活型、原产地、入侵途径、入侵扩散特性、危害及重点防控物种的构成比例,绘制入侵植物种数随时间变化趋势的曲线,统计各区入侵植物种类及单位面积入侵植物种数。在 SPSS 26 中对不同时间段的入侵植物种数进行单因素方差分析(one-way ANOVA),采用 SNK 多重比较检验差异的显著性;计算时间动态及空间动态与影响因素的皮尔逊(Pearson)相关系数,分析其相关性强弱,并检验显著性。

2 结果与分析

2.1 北京外来入侵植物构成特征及入侵危害

2.1.1 构成特征 北京 101 种外来入侵植物隶属于 27 科 63 属(扫描本文 OSID 码,查看附表),其中菊科、苋科、禾本科共占外来入侵植物总数的 48.51%,另外有 15 个科仅有 1 种入侵植物(表 1)。

北京外来入侵植物中共有草本植物 89 种,占比 88.12%,且多为一年生草本植物(66 种, 65.35%),其次是多年生草本(22 种, 21.78%)、藤

本植物(6种,5.94%)、水生植物(3种,2.97%)、乔木(2种,1.98%)、肉质植物(1种,0.99%)和灌木(1种,0.99%)种类最少。

北京外来入侵植物中有70种植物属美洲起源,占植物总数的69.13%,其中又以原产北美的植物种数最多,为38种;其次是原产热带美洲和南美洲的植物,为30种;有2种植物原产地仅记录为美洲,无具体起源地;原产欧洲和亚洲的植物种数次之,均为18种,分别占比15.38%;其次是原产地为非洲的入侵植物,有8种,占比6.84%;原产地中海

地区的植物种数最少,为3种,占比2.56%;其中27种植物有多个原产地。

101种外来入侵植物中有意引进的植物种数有51种,占总数的50.50%,9种出于多用途目的引入,其中27种作为观赏植物引入,13种作为绿肥或饲料引入,9种作为蔬菜引入,8种作为药用植物引入,2种作为麻类织物原料引入,1种作为油脂作物引入;无意引进的有46种,占总数的45.54%;自然扩散进入的4种,占总数的3.96%。

表1 外来入侵植物科分布
Table 1 Distribution of invasive alien plant families

科 Family	种数 Number of species	比例 Percentage/%	科 Family	种数 Number of species	比例 Percentage/%
菊科 Asteraceae	28	27.72	竹芋科 Marantaceae	1	0.99
苋科 Amaranthaceae	11	10.89	雨久花科 Pontederiaceae	1	0.99
禾本科 Gramineae	10	9.90	荨麻科 Urticaceae	1	0.99
大戟科 Euphorbiaceae	8	7.92	仙人掌科 Cactaceae	1	0.99
豆科 Leguminosae	7	6.93	石竹科 Caryophyllaceae	1	0.99
茄科 Solanaceae	5	4.95	商陆科 Phytolaccaceae	1	0.99
十字花科 Cruciferae	4	3.96	桑科 Moraceae	1	0.99
旋花科 Convolvulaceae	3	2.97	伞形科 Umbelliferae	1	0.99
玄参科 Scrophulariaceae	3	2.97	千屈菜科 Lythraceae	1	0.99
柳叶菜科 Onagraceae	3	2.97	漆树科 Anacardiaceae	1	0.99
藜科 Chenopodiaceae	2	1.98	葡萄科 Vitaceae	1	0.99
锦葵科 Malvaceae	2	1.98	落葵科 Basellaceae	1	0.99
酢浆草科 Oxalidaceae	1	0.99	葫芦科 Cucurbitaceae	1	0.99
紫茉莉科 Nyctaginaceae	1	0.99			

2.1.2 入侵扩散特点及危害 101种外来入侵植物入侵特性中96种都具有结实量大的特征,占比95.05%;50种植物的种子小且轻,占比49.50%;21种可以进行营养繁殖,占比20.79%;15种植物能产生具刺或刚毛覆盖的种子或果实,占比14.85%。

101种外来入侵植物危害中,所有种均与本地种存在种间竞争,92种入侵植物具多种危害后果。其中,72种会导致农作物减产,造成严重的农业和经济损失,占总数的71.28%;50种会对生态系统的结构和功能造成影响,占比49.51%;37种会对人畜健康造成威胁,占比36.63%;13种可作为病原菌的寄主传播疾病;占比12.87%;6种可降低水质或造成生物污染,占比5.94%;3种可与本地植物杂交形成“超级杂草”,占比2.97%。

101种外来入侵植物中,26种为国家重点关注的入侵植物,其中25种处于“四批名单”中,占总数的24.75%;18种处于六部门共同发布的《重点名录》中,占总数的17.82%。

2.2 北京外来入侵植物时间动态

2.2.1 入侵时间历程及阶段比较 入侵植物种数随时间变化情况见图1。纵观整个入侵历史,近代之后,外来入侵植物的入侵数量显著提高。对比每个时间阶段,①、②阶段时间跨度最长,植物入侵数量较为平稳,基本保持在低数量水平;第③阶段之后,时间跨度缩小,植物入侵数量不减反增;⑦阶段新的入侵植物较少,入侵植物总数稳定。

单因素方差分析结果表明,不同阶段入侵植物种数组间具有极显著差异($F=73.548$, $p<0.01$),每个阶段的年平均入侵植物种数,差异极显著(图2)。结果显示,④阶段年平均外来入侵植物种数($0.71\text{种}\cdot\text{年}^{-1}$)显著高于其他阶段,③($0.41\text{种}\cdot\text{年}^{-1}$)、⑤($0.30\text{种}\cdot\text{年}^{-1}$)、⑥($0.43\text{种}\cdot\text{年}^{-1}$)阶段年平均外来入侵植物种数显著较高,第①($0.01\text{种}\cdot\text{年}^{-1}$)、②($0.02\text{种}\cdot\text{年}^{-1}$)、⑦($0.09\text{种}\cdot\text{年}^{-1}$)阶段次之。整体而言,1840—2000年是外来入侵植物入侵的高峰期。

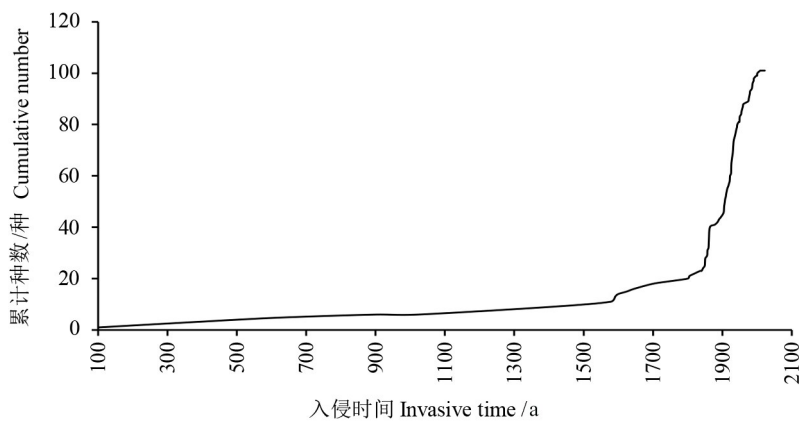


图 1 外来入侵植物累计种数随入侵时间变化情况

Fig.1 The cumulative number of invasive alien plants changed with the invasion time

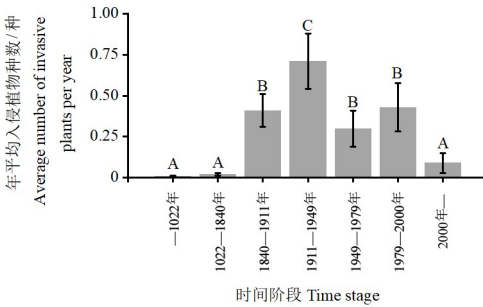


图 2 不同时间阶段年平均入侵植物种数

Fig.2 The annual average number of invasive plant species in different time stages

不同字母表示差异显著 ($\alpha=0.01$)。

Different letters indicate significant difference ($\alpha=0.01$).

2.2.2 入侵时间驱动因素相关性分析 相关性分析结果(表 2)显示,北京的入侵植物时间动态与历史事件次数呈极显著弱正相关,与历史事件累计次数、常住人口、城镇人口、常住人口密度、地区生产总值、第一产业生产总值、第二产业生产总值、第三产业生产总值、进出口总额、货物运输量、铁路货运量、公路货运量、水运货运量、民用航空货运量、管道货运量、铁路营业里程、公路里程、国际航线线路长度、管道输油(气)里程呈极显著强正相关,与农林牧渔业总产值比上年增长呈极显著弱负相关。

表 2 入侵植物累计种数与各类影响因子的相关性

Table 2 The correlation between the cumulative number of invasive plants and various influencing factors

变量 Variables	Pearson 相关性 Pearson Correlation	变量 Variables	Pearson 相关性 Pearson Correlation
历史事件次数 Number of historical events	0.253 **	货物运输量/万 t Cargo transport volume	0.808 **
历史事件累计次数 Cumulative number of historical events	0.987 **	铁路货运量/万 t Railway freight volume	0.892 **
常住人口/万人 Permanent population	0.843 **	公路货运量/万 t Road freight volume	0.804 **
城镇人口/万人 Urban population	0.871 **	水运货运量/万 t Water freight volume	0.732 **
乡村人口/万人 Rural population	-0.857 **	民用航空货运量/万 t Civil air cargo volume	0.732 **
常住人口密度/(人·km ⁻²) Density of permanent population	0.839 **	管道货运量/万 t Pipeline freight volume	0.904 **
地区生产总值/亿元 Regional gross domestic product	0.670 **	铁路营业里程/万 km Railway operating mileage	0.930 **
第一产业生产总值/亿元 GDP of primary industry	0.923 **	公路里程/万 km Highway mileage	0.783 **
第二产业生产总值/亿元 GDP of secondary industry	0.734 **	内河航道里程/万 km Inland waterway mileage	-0.109
第三产业生产总值/亿元 GDP of tertiary industry	0.653 **	国际航线线路长度 International route length/km	0.786 **
进出口总额/亿元 Total import and export	0.654 **	管道输油(气)里程/万 km Pipeline oil (gas) mileage	0.773 **
农林牧渔业总产值比上年增长 The total output value of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery increased by compared with the previous year/%	-0.460 **		

** :相关极显著 ($p<0.01$) ; * :相关显著 ($p<0.5$) 。
** : Extremely significant correlation ($p<0.01$) ; * : Significant correlation ($p<0.5$) .

2.3 北京外来入侵植物空间动态

2.3.1 空间分布格局 101 个入侵植物在北京的空间分布如表 3 所示。其中,外来入侵植物丰富度

为各区入侵植物种数,外来入侵植物密度为各区单位面积上的入侵植物种数。不同种类的外来入侵植物主要分布地一是海淀区,二是延庆区、密云区、

房山区等与河北相接的区域,丰富度分布格局整体展现出外围多、中间少,中西部多、东南部少的特征。此外,外来入侵植物单位面积种数较大的区集中在东城区、西城区、海淀区及石景山区等靠中部的小面积区,与丰富度分布热点地区不同,密云区、房山区的受威胁程度明显降低。

在 101 种植物中,30 种 (29.70%) 仅在单一区分布,71 种植物在多区 (≥ 2) 分布。

跨区分布的外来入侵植物中,28 种在 2~4 个

区分布,占跨区分布物种数的 39.44%;14 种在 5~8 个区有分布,占跨区分布物种数的 19.72%;高达 29 种在 9 个及以上区有分布,占跨区分布物种数的 40.85%。跨行政区域最多的是菊科(9 种)、苋科(5 种)、豆科(3 种)和茄科(2 种)植物。在半数以上区域有分布的 29 个植物种中,9 种为国家重点关注防控地外来入侵植物,仍以一年生草本居多,主要是菊科植物,原产地均为美洲,跨区分布的强入侵性外来入侵植物在北京表现出了较强的扩散性。

表 3 北京外来入侵植物物种空间分布
Table 3 Spatial distribution patterns of invasive plant species in Beijing

区 District name	外来入侵植物 丰富度/种 Richness of alien invasive plant	外来入侵植物 密度/(种·km ⁻²) Density of alien invasive plant	区 District name	外来入侵植物 丰富度/种 Richness of alien invasive plant	外来入侵植物 密度/(种·km ⁻²) Density of alien invasive plant
昌平区 Changping District	37	0.03	门头沟区 Mentougou District	41	0.03
朝阳区 Chaoyang District	34	0.07	密云区 Miyun District	52	0.03
大兴区 Daxing District	26	0.03	平谷区 Pinggu District	29	0.03
东城区 Dongcheng District	30	0.71	石景山区 Shijingshan District	23	0.27
房山区 Fangshan District	54	0.03	顺义区 Shunyi District	30	0.03
丰台区 Fengtai District	45	0.15	通州区 Tongzhou district	27	0.03
海淀区 Haidian District	68	0.17	西城区 Xicheng District	30	0.61
怀柔区 Huairou District	37	0.15	延庆区 Yanqing District	52	0.03

2.3.2 空间动态驱动因素相关性分析 相关性分析结果(表4)显示,各区入侵植物密度与常住人口密度呈极显著强正相关,与绿化覆盖率呈极显著强

负相关,与耕地面积、园地面积、城镇村及工矿用地面积、交通运输用地呈显著中度负相关。

表 4 入侵植物密度与各类影响因子的相关性
Table 4 Correlation between invasive plant density and various impacting factors

变量 Variables	Pearson 相关性 Pearson Correlation	变量 Variables	Pearson 相关性 Pearson Correlation
人口/万人 Population	0.295	耕地面积 Cultivated land area/hm ²	-0.556 *
常住人口/万人 Permanent population	-0.121	农林牧渔业总产值/亿元 Total output value of agri-	-0.472
常住外来人口/万人 Permanent migrant population	-0.256	culture, forestry, animal husbandry and fishery	
常住人口密度/(人·km ⁻²) Density of resident population	0.934 **	园地 Garden land/hm ²	-0.546 *
地区生产总值/亿元 Regional gross domestic product	0.353	林地 Forest land/hm ²	-0.556 *
绿地面积 Green area/hm ²	-0.303	草地 Grassland/hm ²	-0.317
绿化覆盖率 Green coverage/%	-0.823 **	城镇村及工矿用地 Land for towns, villages and	-0.529 *
农作物播种面积 Crop sown area/hm ²	-0.463	mines/hm ²	
交通运输用地 Transportation land/hm ²	-0.595 *	水域及水利设施用地 Waters and water conservancy	-0.480
		facilities land/hm ²	

** : 相关极显著 ($p<0.01$) ; * : 相关显著 ($p<0.5$) 。
** : Extremely significant correlation ($p<0.01$) ; * : Significant correlation ($p<0.5$) .

3 讨论

3.1 北京外来入侵植物特征及入侵危害

菊科、禾本科和苋科不仅在北京,在全国甚至亚洲到全球范围内都是外来入侵植物的主要构成种类 (Pysek, 1998; Wu *et al.*, 2010)。菊科多为一

年生草本,种子数量多,个体小,容易随风扩散,可通过休眠度过环境恶劣时期,抵抗环境干扰,如豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L. 和三裂叶豚草 *Ambrosia trifida* L. (刘延等, 2019; 王志西等, 1999)。禾本科植物多为一年生草本,种子个体小,易随贸易活动

实现跨地区传播,植株一般具有很强的适应性,生长速度快。苋科植物种子产量高、寿命长,萌发时期较广,易适应多种生境而成为广布性入侵杂草(魏莹等,2020)。就生活型而言,草本植物种子数量多且个体小,容易扩散,其中一年生、两年生草本植物具有较短的生活史,能更快完成对环境的适应,并在竞争中取得优势,所以外来入侵植物中草本植物尤其是一年生草本占极大比重。

美洲是外来入侵植物的主要原产地,一是气候因素是影响外来入侵植物分布格局的关键因素(赵彩云等,2022),物种更能适应气候条件与本土气候条件相似的生境,美洲与亚洲处于相同的纬度范围,气候条件相似,且新生境中缺少天敌和竞争者,这些植物一旦获得在新的生境生存的机会,就能快速适应,以极高的数量大面积繁殖,排挤入侵地的本地物种,成功入侵当地生态系统。二是近年来美洲与我国的进出口贸易往来频繁,为美洲植物入侵到中国提供了传播途径。非洲和大洋洲位于赤道附近,以热带、亚热带气候为主,与北京气候环境相差较大,这可能是来自两大洲入侵植物种类很少的原因所在,同时也说明环境的差异性越大,成功入侵的几率越小。

人类活动是外来入侵物种入侵途径的主要因素。有意引进是最广泛、最普遍的传播途径,主要为人工引种外来植物作绿化植物、观赏植物、药用植物、牧草饲料、经济作物,因有些物种具有极强的适应性,易逃逸发展为入侵种,如凤眼莲 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms、加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* L. 本作为观赏植物引进,却发展到最难控制的外来入侵植物行列中,造成严重危害(闫小玲,2012)。无意引进主要是随人类活动引种、国际农产品和货物输入以及随交通工具传播进入,对于这类外来入侵植物,难以有效监管,往往暴发后才关注,导致几乎无法彻底清除(Mack et al., 2000)。

外来入侵植物的入侵特性与其自身的繁殖性、传播性及适应性密不可分(Maron, 2006)。几乎所有外来入侵植物都具备结实量大这一特性,能产生大量繁殖体,为新环境选择提供机会(王德艳等, 2017)。小而轻的种子可随风、水流传播扩散,扩大传播扩散范围。营养繁殖则可以促进局域入侵植物种群的快速增长,进而入侵扩散(钟林光和王朝晖, 2010)。具刺或刚毛覆盖的种子或果实还可借

助刺萼扎入动物皮毛及人的衣物扩大传播扩散区域(Del Vitto & Petenatti, 2015)。

外来入侵植物的危害性往往涉及社会、经济、生态等多方面。最主要也最为普遍的危害是入侵植物能在与本地植物的竞争中取得优势,挤占本地植物的生态位。绝大多数入侵植物主要入侵农田等受人类干扰强烈的生态系统,通过化感作用、资源争夺等方式排挤本地植物,造成单优种群,一方面严重降低作物产量,造成大量农业和经济损失,另一方面降低生物多样性,危害生态系统的结构和功能(王小飞等, 2023; 袁美丽等, 2016)。此外,少部分入侵植物作为多种病虫、病原菌的中间寄主传播疾病(周全来等, 2023),或富含硝酸盐等物质导致家畜中毒(李芳念等, 2017)。

外来入侵植物重点防控的一个主要依据即是《重点名录》及“四批名单”。这 2 份名录中的入侵植物是当前和今后一个时期内国家防控的重点所在,此类入侵植物均具备强烈的入侵性和严重的危害性。结合名录,针对入侵植物实际情况,在风险研判和入侵趋势分析基础上制定入侵性等级划分体系(汪远等, 2015; 严靖等, 2017),是关注防控入侵植物的重要依据。

3.2 北京外来入侵植物时空动态及影响因素

入侵时间常被认为与入侵成功性有关(Castro et al., 2005),入侵时间越久,外来植物越有可能在入侵地扩散而产生大范围危害。历史事件、人口、经济水平、进出口贸易、交通工具类因素所表现出的极高相关性,说明目前的外来入侵植物很大程度上是历史社会经济导致的入侵债务(Essl et al., 2011)。纵观整个历史,外来入侵植物的入侵速度经历了低、高、稳定 3 个阶段,与华东地区、西部地区归化植物的引入时间动态相似(李龙沁等, 2022; 严靖等, 2021)。从起源于西汉的丝绸之路至 1840 年这段时期,入侵植物的缓慢入侵大概率受当时社会发展水平低的影响,人类活动造成的无意带入和有意入侵是主要入侵方式,原始的驿站交通极大限制了人类流动的速度和跨区域活动的频率(李鲁奇等, 2020)。在 19 世纪中期到 20 世纪,入侵植物数量增长最迅速,究其历史原因,主要是 1840 年第一次鸦片战争后,中国开放了 52 个口岸,贸易、传教、科学家科考等人类活动增强,加之 1979 年后,中国进入改革开放新时期,对外开放不断扩大,经济水

平进一步提高,以上均极大促进了外来入侵植物的入侵。2000年后入侵速度变缓,可能是由于这段时间传入的外来植物从引入阶段到入侵阶段存在一个“时滞”(Essl *et al.*, 2011),需要几十年甚至上百年才会展现出对当地社会经济生态的强烈危害性,并且相应的法制建设不断完善,《植物检疫条例》《进出境动植物检疫法》等均已出台,管理力度的加强使得相较于上一时间段内,外来植物入侵得到控制(王瑞等,2022)。

北京外来入侵植物空间分布格局中,外来入侵植物在北京各区的丰富度分布主要有2个热点区域:一是延庆区、密云区、房山区等大范围与河北接壤地,跨省人类活动频繁,这些区域面积较大,随着建设用地发展重点转移到远郊区,生境破碎化较为严重,生态系统处于易被入侵状态,且外来入侵植物因其强适应生长快的特性,特别是入侵杂草类,容易在此处定殖扩散(张楠等,2018);二是海淀区此类高度城市化的区域,人类活动是主要因素(赵云峰等,2022),人口密度及生产总值常年位于北京各区前列,人类活动更为频繁,伴随的外来入侵植物的入侵情况也更为严峻(Wang *et al.*, 2011)。几种相关因素中,代表人类活动的因素呈显著相关性,与北京入侵植物在部分区分布的研究结果一致(海云瑞等,2020;王苏铭等,2012),而入侵植物种数量最高的区为海淀区,则与其研究结果不同,可能是因为人类活动因素在本研究中影响程度较大,且科研人员对于各地区入侵物种资源调查的强度会放大该种影响所导致的结果。密度分布格局受威胁中心发生偏移,转移至中部东城区西城区,与王国欢等(2017)所做全国范围内的入侵植物分布格局结果有相似之处,区域面积会影响入侵种丰富度与密度的格局,尤其是本研究中的密云区、房山区与中部各区相比较面积差异较大。该结果说明不应忽视小面积区域内的植物扩散和定殖,面积小可能反而导致了更快的扩散,影响区域内的整体生态安全。林地等土地利用属性可以从一定程度上抵御入侵植物的入侵(李岚曦等,2023;Urbanowicz *et al.*, 2018)。林地和草地等绿地主要分布在西部面积较大的区域,入侵植物密度高的东城区、西城区等中部区域绿化覆盖率相对较低,可以从提高绿化覆盖角度规划中部区的景观格局,进而降低其入侵植物密度。

入侵植物可通过不可逆地取代原生植被,阻止新的演替形成,破坏保护区的保护功能(Ren *et al.*, 2021)。由北京入侵植物分布可以看出,北京市自然保护地的空间分布密度与入侵植物的分布较吻合,延庆区、房山区、门头沟区和密云区是保护地数量和出现交叉重叠现象最多的辖区(冯达等, 2020)。人类活动极可能将这些对保护区本地植物有潜在危害的外来植物带入其中,进而对保护区内的受保护物种、甚至是珍稀濒危植物及其栖息地造成不利影响。

3.3 北京入侵植物防治的对策建议

引入或传入、定殖、种群建立及扩散是植物入侵的基本阶段(Theoharides & Dukes, 2007)。相应对于外来入侵植物的防治可以从预防、消灭、控制3个角度考虑。

预防是防控外来入侵种最有效的手段,而实现预防预警离不开严格的检验检疫环节。北京出入境检验检疫局、北京海关应做好进境生物材料企业备案管理,完善《进境植物繁殖材料检疫审批单备案办事指南》,加强对分布区货物、运输工具等携带的入侵植物子实的监控,尤其是出于引种目的从温带地区人为引进的菊科、禾本科和苋科植物。可与相关科研机构合作,提升外来入侵植物筛查技术力量,最大限度地从源头降低入侵风险。

加强外来入侵植物本底调查与监测,特别是在海淀区、延庆区、密云区、房山区等入侵植物丰富度较高的区及在东城区、西城区、石景山区等入侵植物密度较高的区,调查入侵植物具体的分布点位,有助于建立相互联系的数据网络,对其潜在的伤害风险进行预估,制定更有针对性的防控措施,实现精准防控。

构建针对北京的外来入侵植物入侵性等级划分体系,基于各外来入侵植物在北京的危害程度和潜在危害性进行科学评估,形成因地制宜的等级划分标准,配置相关资源和技术力量开展分级防控。

加强科普宣传,积蓄防治外来植物的社会力量。外来植物入侵事关区域粮食安全、生物安全和生态安全。然而,普通市民的辨识能力有限,相关专业知识的缺乏,往往一些无意识的放生、丢弃行为可能辅助了外来植物入侵,因此需加强宣传力度,让更多市民了解外来植物入侵的风险。可利用北京众多的公园、科普教育基地、生态文明基地进行

相关宣传,例如可在国家自然博物馆、中国海关博物馆增设展板,陈列入侵植物标本,介绍其特征、传播途径和危害;可利用高校、科研院所的专家资源,在国家植物园、颐和园等游客较集中的公园开展志愿宣讲活动,向公众科普入侵植物相关知识,让市民了解入侵植物的特点和造成的严重危害,提高人们对外来入侵植物的警惕,形成防治外来植物的自觉意识,形成全社会参与防控的氛围。

参考文献

- 陈宝雄,孙玉芳,韩智华,黄宏坤,张宏斌,李垚奎,张国良,刘万学,2020.我国外来入侵生物防控现状、问题 and 对策. *生物安全学报*, 29(3): 157-163.
- 崔夏,刘全儒,吴超然,何宇飞,马金双,2022.京津冀外来入侵植物. *生物多样性*, 30(8): 151-160.
- 冯达,胡理乐,陈建成,2020.北京市自然保护地空间分布格局与交叉重叠特征. *生态学杂志*, 39(10): 3421-3429.
- 海云端,马菁,姜广辉,2020.北京主要外来入侵植物分布特征及其影响因素分析. *宁夏农林科技*, 61(8): 54-57, 52.
- 黄波,李天娇,李烨,丁蛟龙,张落桐,周莉,2022.澳大利亚生物多样性保护经验及其对我国的启示. *农业资源与环境学报*, 39(1): 65-71.
- 李芳念,杨春玉,梁有发,2017.贵州省雷公山国家级自然保护区主要外来入侵植物危害现状及防控对策. *现代农业科技* (15): 121-122.
- 李惠茹,严靖,杜诚,闫小玲,2022.中国外来植物入侵风险评估研究. *生态学报*, 42(16): 6451-6463.
- 李岚曦,何荣晓,杨帆,陈俊,曹凌仪,2023.海口城市空间差异对外来入侵植物分布格局的影响. *生物安全学报*, 32(3): 235-242.
- 李龙沁,许光耀,高越,莫训强,李洪远,2022.中国西部地区归化植物时空分布特征研究. *广西植物*, 42(3): 429-439.
- 李鲁奇,吴启焰,刘可文,梁双波,钱超峰,2020.历史视角下亚欧大陆海陆交通可达性空间格局演化. *地理学报*, 75(4): 804-819.
- 林秦文,肖翠,马金双,2022.中国外来植物数据集. *生物多样性*, 30(5): 110-117.
- 刘全儒,于明,周云龙,2002.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)*, 38(3): 399-404.
- 刘延,董合干,刘彤,王寒月,王瑞丽,马倩倩,赵文轩,李秋霞,2019.豚草和三裂叶豚草不同植株部位种子萌发与入侵扩散关系. *生态学报*, 39(24): 9079-9088.
- 马金双,李惠茹,2018.中国外来入侵植物名录.北京:高等教育出版社.
- 马金双,2020.中国外来入侵植物志.上海:上海交通大学出版社.
- 石青,陈雪,罗雪晶,陈凤新,任晓鸿,2017.京津冀外来入侵植物的种类调查与分析. *生物安全学报*, 26(3): 215-223.
- 汪远,李惠茹,马金双,2015.上海外来植物及其入侵等级划分. *植物分类与资源学报*, 37(2): 185-202.
- 王德艳,张大才,胡世俊,闫晓慧,2017.云南菊科入侵植物入侵机制及其利用研究进展. *生物安全学报*, 26(4): 259-265.
- 王国欢,白帆,桑卫国,2017.中国外来入侵生物的空间分布格局及其影响因素. *植物科学学报*, 35(4): 513-524.
- 王惠惠,刘晶岚,张容,刘佳凯,邹瑀琦,邹大林,南海龙,张振明,2014.北京外来入侵植物研究. *农学学报*, 4(6): 49-52, 58.
- 王瑞,黄宏坤,张宏斌,张艳萍,薛琳,陈宝雄,杨念婉,郭建英,刘万学,万方浩,2022.中国外来入侵物种防控法规和管理机制空缺分析. *植物保护*, 48(4): 2-9.
- 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,2012.北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素. *生态学报*, 32(15): 4618-4629.
- 王小飞,王涛,王琦,尹爱国,杨晓绒,岳茂峰,2023.白花鬼针草入侵对植物群落结构及物种多样性的影响. *生物安全学报*, 32(4): 384-392.
- 王志西,刘祥君,高亦珂,祖元刚,1999.豚草和三裂叶豚草种子休眠规律研究. *植物研究*, 19(2): 39-44.
- 魏莹,李倩,李阳,毛祝新,王宇超,岳明,2020.外来入侵植物反枝苋的研究进展. *生态学杂志*, 39(1): 282-291.
- 洗晓青,王瑞,陈宝雄,张宏斌,李垚奎,万方浩,张桂芬,刘万学,2022.“世界 100 种恶性外来入侵物种”在我国大陆的入侵现状. *生物安全学报*, 31(1): 9-16.
- 肖翠,刘冰,吴超然,马金双,叶建飞,夏晓飞,林秦文,2022.北京维管植物编目和分布数据集. *生物多样性*, 30(6): 5-13.
- 闫小玲,2012.观赏植物引种与外来入侵种研究. *园艺与种苗* (8): 41-45.
- 闫小玲,刘全儒,寿海洋,曾宪锋,张勇,陈丽,刘演,马海英,齐淑艳,马金双,2014.中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析. *生物多样性*, 22(5): 667-676.
- 闫小玲,寿海洋,马金双,2012.中国外来入侵植物研究现状及存在的问题. *植物分类与资源学报*, 34(3): 287-313.
- 严靖,闫小玲,李惠茹,杜诚,马金双,2021.华东地区归化植物的组成特征、引入时间及时空分布. *生物多样性*, 29(4): 428-438.
- 严靖,闫小玲,王樟华,李惠茹,马金双,2017.安徽省外来入侵植物的分布格局及其等级划分. *植物科学学报*, 35(5): 679-690.
- 袁美丽,李韶霞,王宁,2016.5 种外来入侵植物对小麦的

- 化感作用. 贵州农业科学, 44(12): 58–62.
- 张楠, 董丽, 王骢, 王阔, 2018. 北京城市生态廊道草本植物组成及分布格局. 中国园林, 34(6): 94–99.
- 赵彩云, 柳晓燕, 李飞飞, 朱金方, 郭朝丹, 李俊生, 2022. 我国国家级自然保护区主要外来入侵植物分布格局及成因. 生态学报, 42(7): 2532–2541.
- 赵云峰, 赵彩云, 朱金方, 李飞飞, 杨秀清, 郭朝丹, 2022. 北京市典型公园外来入侵植物分布格局. 生态学报, 42(9): 3656–3665.
- 中华人民共和国生态环境部, 2022. 2021 年中国生态环境状况公报(摘录). 环境保护, 50(12): 61–74.
- 钟林光, 王朝晖, 2010. 外来物种婆婆纳生物学特性及危害的研究. 安徽农业科学, 38(19): 10113–10115.
- 周全来, 曹伟, 张悦, 金永焕, 王永翠, 马瑛培, 陈辉, 崔雪, 2023. 外来入侵植物刺萼龙葵的入侵特征与防治策略. 生物安全学报, 32(4): 314–322.
- CASTRO S A, FIGUEROA J A, MUNOZ-SCHICK M, JAKSIC F M, 2005. Minimum residence time, biogeographical origin, and life cycle as determinants of the geographical extent of naturalized plants in continental Chile. *Diversity and Distributions*, 11(3): 183–191.
- DEL VITTO L A, PETENATTI E M, 2015. On the presence of *Solanum rostratum* (Solanaceae) in South America: a toxic neophyte with great potential as a weed. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(2): 109–121.
- ESSL F, DULLINGER S, RABITSCH W, HULME P E, HULBER K, JAROSIK V, KLEINBAUER I, KRAUSMANN F, KUHN I, NENTWIG W, VILA M, GENOVESI P, GHERARDI F, DESPREZ-LOUSTAU M L, ROQUES A, PYSEK P, 2011. Socioeconomic legacy yields an invasion debt. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(1): 203–207.
- FANTLE-LEPCZYK J E, HAUBROCK P J, KRAMER A M, CUTHBERT R N, TURBELIN A J, CRYSTAL-ORNELAS R, DIAGNE C, COURCHAMP F, 2022. Economic costs of biological invasions in the United States. *Science of the Total Environment*, 806: 151318.
- HAO Q, MA J S, 2023. Invasive alien plants in China: an update. *Plant Diversity*, 45(1): 117–121.
- KEANE R M, CRAWLEY M J, 2002. Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(4): 164–170.
- MACK R N, SIMBERLOFF D, LONSDALE W M, EVANS H, CLOUT M, BAZZAZ F A, 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, 10(3): 689–710.
- MARON J L, 2006. The relative importance of latitude matching and propagule pressure in the colonization success of an invasive forb. *Ecography*, 29(6): 819–826.
- PYSEK P, 1998. Is there a taxonomic pattern to plant invasions? *Oikos*, 82(2): 282–294.
- PYSEK P, HULME P E, SIMBERLOFF D, BACHER S, BLACKBURN T M, CARLTON J T, DAWSON W, ESSL F, FOXCROFT L C, GENOVESI P, JESCHKE J M, KUHN I, LIEBHOLD A M, MANDRAK N E, MEYERSON L A, PAUCHARD A, PERGL J, ROY H E, SEEBENS H, VAN KLEUNEN M, VILA M, WINGFIELD M J, RICHARDSON D M, 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6): 1511–1534.
- REN J L, CHEN J S, XU C L, VAN DE KOPPEL J, THOMSEN M S, QIU S Y, CHENG F Y, SONG W J, LIU Q X, XU C, BAI J H, ZHANG Y H, CUI B S, BERTNESS M D, SILLIMAN B R, LI B, HE Q, 2021. An invasive species erodes the performance of coastal wetland protected areas. *Science Advances*, 7: eabi8942.
- THEOHARIDES K A, DUKES J S, 2007. Plant invasion across space and time: factors affecting nonindigenous species success during four stages of invasion. *New Phytologist*, 176(2): 256–273.
- URBANOWICZ C, HUTYRA L R, STINSON K A, 2018. The effects of urbanization and land use on ragweed distribution. *Ecosphere*, 9(12): e02512.
- WANG H F, LOPEZ-PUJOL J, MEYERSON L A, QIU J X, WANG X K, OUYANG Z Y, 2011. Biological invasions in rapidly urbanizing areas: a case study of Beijing, China. *Biodiversity and Conservation*, 20(11): 2483–2509.
- WATARI Y, KOMINE H, ANGULO E, DIAGNE C, BALLESTEROS-MEJIA L, COURCHAMP F, 2021. First synthesis of the economic costs of biological invasions in Japan. *Neobiota*, 67: 79–101.
- WU S H, SUN H T, TENG Y C, REJMANEK M, CHAW S M, YANG T Y A, HSIEH C F, 2010. Patterns of plant invasions in China: taxonomic, biogeographic, climatic approaches and anthropogenic effects. *Biological Invasions*, 12(7): 2179–2206.