北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

天津市湿地入侵植物现状和分布格局

刘艺萌 程蕊 杨丽娟 杨小立 马志斌 王大郅 李红丽

Current status and distribution patterns of invasive plants in wetlands of Tianjin City, northern China

Liu Yimeng, Cheng Rui, Yang Lijuan, Yang Xiaoli, Ma Zhibin, Wang Dazhi, Li Hongli

引用本文:
刘艺萌, 程蕊, 杨丽娟, 杨小立, 马志斌, 王大郅, 李红丽. 天津市湿地入侵植物现状和分布格局[J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(5):131–141. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240320
Liu Yimeng, Cheng Rui, Yang Lijuan, Yang Xiaoli, Ma Zhibin, Wang Dazhi, Li Hongli. Current status and distribution patterns of invasive plants in wetlands of Tianjin City, northern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(5):131–141. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240320

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240320

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

天津滨海新区湿地耐盐植物分布与土壤化学因子的相关关系

Correlations between the distribution of salt–tolerant plants and soil chemical factors in wetland of Tianjin Coastal New Area, northern China

北京林业大学学报, 2018, 40(8): 103–115. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20180054

辽宁省自然保护地空间分布格局与重叠现状分析

Analysis on spatial distribution pattern and overlapping status of natural protected area in Liaoning Province of northeastern China

北京林业大学学报, 2021, 43(11): 89–98. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210006

互花米草入侵对闽东滨海湿地红树林土壤理化性质和酶活性的影响

Effects of *Spartina alterniflora* invasion in eastern Fujian coastal wetland on the physicochemical properties and enzyme activities of mangrove soil

北京林业大学学报, 2017, 39(1): 70–77. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20160202

广东湛江高桥红树林湿地沉积柱粒度特征

Grain size characteristics of core sedimentation from the Gaoqiao mangrove area in Zhanjiang, Guangdong Province of southern China

北京林业大学学报, 2017, 39(11): 9–17. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20170168

福建漳江口红树林湿地生态补偿研究

Ecological compensation of mangrove wetlands in Zhangjiangkou of Fujian, southern China

北京林业大学学报, 2017, 39(9): 83–90. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20170078

福建泉州湾河口湿地时空动态及其驱动机理

Spatiotemporal dynamics and its driving mechanism of the Quanzhou Bay Estuary Wetland, Fujian Province of eastern China

北京林业大学学报, 2021, 43(6): 75–82. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200358

DOI:10.12171/j.1000−1522.20240320

天津市湿地入侵植物现状和分布格局

刘艺萌　程　蕊　杨丽娟　杨小立　马志斌　王大郅　李红丽
（北京林业大学生态与自然保护学院，国家林业和草原管理局黄河流域生态保护重点实验室，北京 100083）

摘要:【目的】明确天津市湿地入侵植物的现状和分布格局，以期为防控天津市湿地外来植物入侵，保护天津市湿地生物多样性，维护生态安全提供理论依据。**【方法】**通过实地调查，结合中国外来入侵物种信息系统和《中国外来入侵植物志》，利用 Arcgis10.7 和 gephi0.10.1 软件进行绘图分析，系统分析天津市湿地外来入侵物种的组成、生活型、原产地、入侵等级和空间分布格局。**【结果】**(1)天津市湿地入侵植物有 103 种，隶属 22 科 67 属；入侵植物以菊科(36.89%)为主，其次是苋科(13.59%)、禾本科(10.68%)和豆科(6.80%)；入侵植物以草本植物为主，占比 96.12%；从地理来源看，来自美洲的入侵植物最多(60.19%)；在外来植物入侵等级中，1 级(恶性入侵植物)有 19 种，占 18.45%；2 级(严重入侵植物)有 21 种，占 20.39%。(2)湿地入侵植物在蓟州区(64 种)和宝坻区(61 种)分布较多，河东区最少(1 种)。**【结论】**天津湿地不同地区入侵植物情况不同，整体呈现植物种类多、部分地区入侵相对严重等特点，未来应重点关注对美洲、草本、菊科外来植物的防控，以减少其扩散和危害，保护湿地生态系统的稳定性和生物多样性。

关键词：天津市；湿地；外来入侵植物；入侵现状；分布格局
中图分类号：Q948　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000−1522(2025)05−0131−11
引文格式：刘艺萌，程蕊，杨丽娟，等. 天津市湿地入侵植物现状和分布格局［J］. 北京林业大学学报，2025，47(5)：131−141.
Liu Yimeng, Cheng Rui, Yang Lijuan, et al. Current status and distribution patterns of invasive plants in wetlands of Tianjin City, northern China［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(5): 131−141.

Current status and distribution patterns of invasive plants in wetlands of Tianjin City, northern China

Liu Yimeng　Cheng Rui　Yang Lijuan　Yang Xiaoli　Ma Zhibin　Wang Dazhi　Li Hongli
(School of Ecology and Nature Conservation, Key Laboratory of Ecological Protection in the Yellow River Basin of National Forestry and Grassland Administration, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: ［**Objective**］The study aims to clarify the current situation and distribution pattern of invasive plants in wetlands of Tianjin City, northern China as well as to prevent and control the invasion of invasive plants in wetlands in Tianjin City. The research can provide a solid theoretical basis for protecting the biodiversity of wetlands in Tianjin City and maintaining ecological security. ［**Method**］Based on field surveys and literature, this study used ArcGIS 10.7 and gephi0.10.1 software for graphic to systematically analyze the species composition, life form, origin, invasion level and distribution patterns of invasive alien species in wetlands of Tianjin City. ［**Result**］(1) There were 103 species of invasive plants in wetlands of Tianjin City, belonging to 22 families and 67 genera. From the classification point of view, the invasive plants were mainly from Asteraceae (36.89%), followed by Amaranthaceae (13.59%), Gramineae (10.68%), and Leguminosae (6.80%). The invasive plants were mainly from herbaceous plants, accounting for 96.12%

收稿日期: 2024−09−25　**修回日期:** 2024−12−03
基金项目: 天津市林草种质资源普查与收集及外来入侵物种普查服务项目(SHGP-2022-B201)，中央高校优秀青年团队项目(QNTD202304)，大学生创新创业训练项目(X202310022318)。

第一作者: 刘艺萌。主要研究方向：生态学。Email：1776819199@qq.com　地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学生态与自然保护学院。
责任作者: 李红丽，教授。主要研究方向：生态学。Email：lihongli327@163.com　地址：同上。

本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn；http://journal.bjfu.edu.cn

of the total invasive plant species. In terms of geographic origin, invasive plants from the Americas were the most abundant (60.19%). Among the invasive alien plants, there were 19 species of Level 1 (malignant invasive plants), accounting for 18.45% of the total. There were 21 species of Level 2 (serious invasive plants), accounting for 20.39% of the total. (2) Wetland invasive plants were more distributed in Jizhou and Baodi Districts, with 64 and 61 species' than Hedong District, which had the least number of invasive plants, with 1 species. [**Conclusion**] Wetlands of Tianjin City are invaded differently in different areas, presenting many kinds of species and relatively serious invasions in some area. We should strengthen the supervision of American, herbaceous and Asteraceae exotic plants to reduce the expansion spread and harm. At the same time, it can protect the stability and biodiversity of wetland ecosystems.

Key words: Tianjin City; wetlands; alien invasive plants; status of invasion; distribution patterns

生物入侵是指生物由原产地迁移至入侵地，在新环境定居、繁殖形成具有一定规模的群落，并对当地经济和生态系统造成损害的现象[1]。生物入侵已成为全球性的环境问题，随着全球化贸易、旅游业的快速发展以及气候变化的影响，入侵物种的数量不断增加，导致生物多样性丧失[2]、社会经济损失[3]，并威胁人类健康[4]。在我国，生物入侵已成为威胁生物多样性与生态环境的重要因素之一[5]。相关研究表明，植物是入侵生物中种类和数量最为丰富的类群[3]。入侵植物由于繁殖速度快[6]、环境适应能力强[7]、入侵途径多[8]等特征，能够迅速侵占原生态区域，挤压原生物种的生存空间[9]。

由于入侵物种本身的复杂性和生态系统的相互依赖性，不同生态系统中的生物入侵特点不同[10]。其中，湿地生态系统面临着生物入侵的严重威胁。湿地生态系统被誉为“地球之肾”，在全球生态平衡中扮演着不可替代的角色，具备为野生动植物提供栖息地、调节气候、净化水质、防洪减灾等重要功能[11−12]。然而，入侵植物对湿地生态系统造成了多方面的危害，通过改变生物地球化学循环[13]、降低生物多样性[14]等方式影响湿地生态系统的正常功能，并通过改变土壤的化学成分和结构[15]，进一步对湿地的健康和稳定性产生不利影响。

天津市是我国重要的港口和滨海城市，对外贸易频繁，生物多样性丰富[16]。天津市湿地类型丰富多样，分布范围广，涵盖河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地和人工湿地 4 种类型[17]，容易受到外来物种的入侵。目前，天津市入侵植物的研究主要集中于互花米草(*Spartina alterniflora*)的分布监测[18]，以及部分单个保护区中的植物调查与分析[19]。然而，这些研究多聚焦于单一物种或局部区域，缺乏对天津市湿地入侵植物整体现状和分布格局的系统性研究，无法为湿地生态系统的保护提供系统的理论支持，也难以满足湿地生态修复和生物多样性保护的实际需求。为了全面了解天津市湿地入侵植物的分布及格局，本研究拟通过实地调查，结合中国外来入侵物种信息系统和《中国外来入侵植物志》，利用 Arcgis10.7 和 gephi0.10.1 软件进行绘图分析，系统分析天津市湿地外来入侵物种的组成、生活型、原产地、入侵等级和空间分布格局，并揭示不同外来入侵植物间的关系。本研究旨在为预防和控制湿地入侵植物扩散、保护天津市湿地生物多样性、指导湿地生态修复工程以及维护生态安全提供更充实的理论基础，同时为制定相关政策法规、促进公众环保意识提升提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

天津市位于中国华北地区，是中国重要的港口城市和直辖市之一，地理坐标为 116°32′ ~ 117°40′E，39°50′ ~ 41°30′N[20]。全市总面积 1.197 万 km^2，地形以平原和洼地为主[21]。天津地处暖温带半湿润季风气候区，属于季风型大陆性气候[22]，四季分明。天津的年平均气温约为 14 ℃，年平均降水量为 360 ~ 970 mm[23]。根据第 3 次国土调查数据，天津市湿地面积为 327.222 km^2(不包括低潮时水深不超过 6 m 的海域)，主要分布在滨海新区、武清区和宁河区，占全市湿地总面积的 94.95%[24]。因其境内河流水系较多，内陆和滨海湿地面积较大，因而水生动植物资源丰富。

1.2 研究方法

1.2.1 实地调查

2023 年 7 月 8—15 日，对天津市湿地开展了全面的实地调查。此次调查主要覆盖了滨海新区、宝坻区、静海区、宁河区、蓟州区等 15 个区，重点围绕有较大水库、湖泊、河流的乡镇设置样点和样线。调查范围包括滨海湿地、湖泊湿地、河流湿地等主要湿地类型，踏查覆盖面积约为 68.652 km^2，约占天津市湿地总面积的 21%。调查采用样点与样线相结合的方式，根据各区域湿地面积大小设置样线数量，每条

样线长度为 1 km，并在每条样线上随机设置 3 ~ 4 个 1 m × 1 m 的样方。此次调查共设置 65 处调查位点、70 条样线和 208 个样方（图 1）。调查过程中，详细记录调查地点、入侵植物名称及物种数量，对于难以现场识别的植物，采集标本带回实验室进一步鉴定。

1.2.2　种类鉴定

依据中国外来入侵物种信息系统（https://www.plantplus.cn/ias/）和《中国外来入侵植物志》鉴定植物，并根据闫小玲等[25]的分类方法将入侵植物分为 5 个入侵等级。1 级（恶意入侵）：入侵范围覆盖 1 个以上省份，并且已经对自然资源和生态环境造成巨大破坏。2 级（严重入侵）：入侵范围覆盖 1 个以上省份，并且已经对自然资源和环境造成较大破坏。3 级（局部入侵）：入侵范围覆盖 1 个以上省份，但尚未对自然资源和生态环境造成大规模破坏。4 级（一般入侵）：尚未对自然资源和生态环境造成破坏，并且入侵趋势不明显。5 级（有待观察）：其破坏作用和范围以及未来入侵趋势还有待进一步了解。

1.2.3　数据分析

使用 Excel 2016 软件对入侵植物的物种名、拉丁名、科属、生活型、原产地、入侵等级、入侵地区等信息进行分类统计；利用 Arcgis10.7 软件作图，分析天津市湿地入侵植物的空间分布特征。根据调查和风险评估结果，创建包含入侵植物基本信息的节点数据集，涵盖植物名称、入侵等级、生活型等属性。同时，基于原产地创建边数据集，利用 gephi0.10.1 软件制作网络关系图和网络共现图，揭示不同外来入侵植物间的潜在关系。

2　结果与分析

2.1　天津市湿地入侵植物现状

2.1.1　物种组成

本研究共调查到湿地入侵植物 103 种，隶属 22 科 67 属（表 1）。在这些入侵植物中，菊科的物种数量最多（38 种），占入侵植物总物种数的 36.89%；其次为苋科（14 种），占总数的 13.59%；禾本科为 11 种，占 10.68%；豆科为 7 种，占 6.80%；旋花科为 5 种，占 4.85%；十字花科和大戟科均为 4 种，各占 3.88%（图 2a）。

2.1.2　生活型

在天津市湿地入侵植物中，草本植物是主要的生活型，涵盖了多种类型，包括一年生草本、二年生草本、多年生草本和浮水草本。其中，一年生草本数量最多（65 种），占湿地入侵植物总种数的 63.11%；多年生草本植物有 18 种；二年生草本植物有 15 种；浮水草本植物有 1 种。此外，还记录到 2 种灌木、1 种木质藤本、1 种乔木（图 2b）。在天津市各区湿地

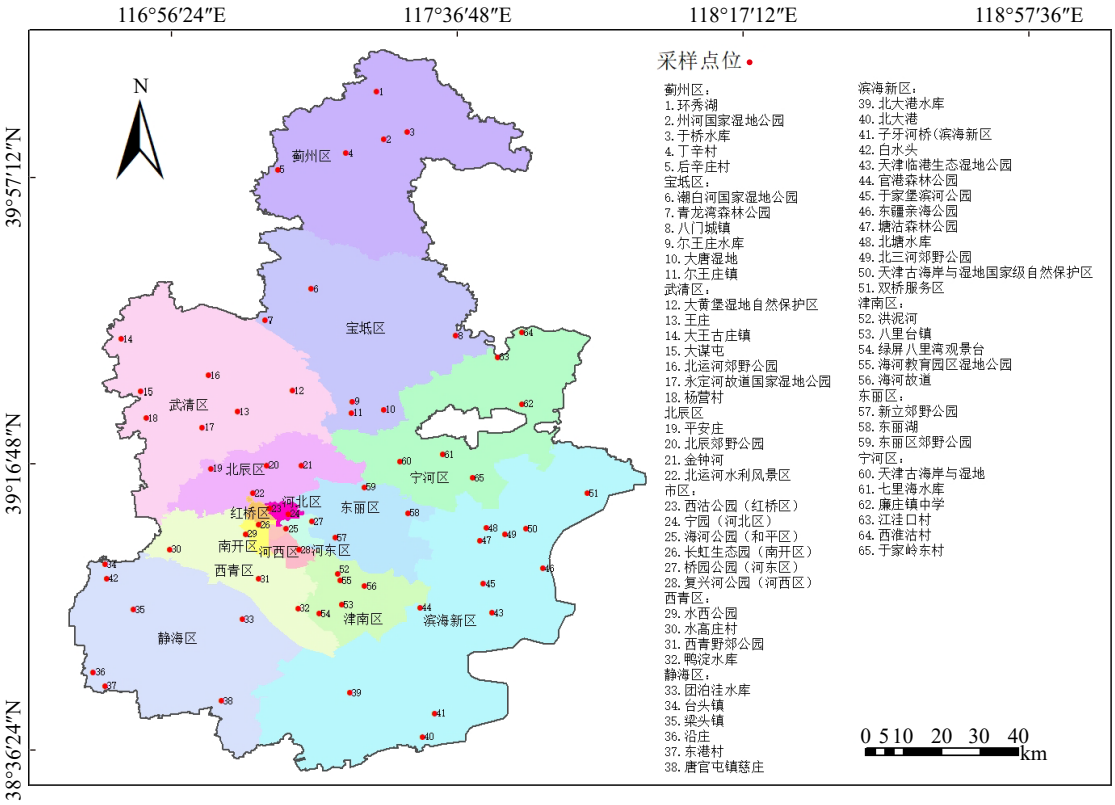


图 1　天津市湿地外来入侵植物调查点分布

Fig. 1　Survey site distribution of alien invasive plants in wetlands of Tianjin City

表 1 天津市湿地入侵植物

Tab. 1 Invasive plants in wetlands of Tianjin City

物种	拉丁名	科	原产地	生活型	入侵等级	物种	拉丁名	科	原产地	生活型	入侵等级
北美车前	*Plantago virginica*	车前科	美洲	二年生草本	3	粗毛牛膝菊	*Galinsoga quadriradiata*	菊科	美洲	一年生草本	2
水盾草	*Cabomba caroliniana*	莼菜科	美洲	多年生草本	1	一年蓬	*Erigeron annuus*	菊科	美洲	一年生草本	1
斑地锦	*Euphorbia maculata*	大戟科	美洲	一年生草本	4	花叶滇苦菜	*Sonchus asper*	菊科	欧洲	一年生草本	4
齿裂大戟	*Euphorbia dentata*	大戟科	美洲	一年生草本	3	豚草	*Ambrosia artemisiifolia*	菊科	美洲	一年生草本	1
通奶草	*Euphorbia hypericifolia*	大戟科	美洲	一年生草本	3	钻叶紫菀	*Symphyotrichum subulatum*	菊科	美洲	一年生草本	1
大地锦	*Euphorbia nutans*	大戟科	美洲	一年生草本	3	长裂苦苣菜	*Sonchus brachyotus*	菊科	欧洲	二年生草本	4
大麻	*Cannabis sativa*	大麻科	亚洲	一年生草本	4	两色金鸡菊	*Coreopsis tinctoria*	菊科	美洲	一年生草本	5
紫穗槐	*Amorpha fruticosa*	豆科	美洲	灌木	5	黄顶菊	*Flaveria bidentis*	菊科	美洲	一年生草本	1
刺槐	*Robinia pseudoacacia*	豆科	美洲	乔木	4	黑心金光菊	*Rudbeckia hirta*	菊科	美洲	二年生草本	5
白车轴草	*Trifolium repens*	豆科	非洲	多年生草本	2	天名精	*Carpesium abrotanoides*	菊科	亚洲	多年生草本	5
紫苜蓿	*Medicago sativa*	豆科	亚洲	多年生草本	4	万寿菊	*Tagetes erecta*	菊科	美洲	一年生草本	4
草木樨	*Melilotus suaveolens*	豆科	欧洲	二年生草本	4	野莴苣	*Lactuca serriola*	菊科	欧洲	一年生草本	5
南苜蓿	*Medicago polymorpha*	豆科	亚洲	二年生草本	4	金光菊	*Rudbeckia laciniata*	菊科	美洲	多年生草本	5
白花草木樨	*Melilotus albus*	豆科	亚洲	二年生草本	4	鳢肠	*Eclipta prostrata*	菊科	美洲	一年生草本	4
多花黑麦草	*Lolium multiflorum*	禾本科	欧洲	多年生草本	4	小花山桃草	*Gaura parviflora*	柳叶菜科	美洲	一年生草本	2
扁穗雀麦	*Bromus catharticus*	禾本科	美洲	一年生草本	2	美丽月见草	*Oenothera speciosa*	柳叶菜科	美洲	二年生草本	2
燕麦草	*Arrhenatherum elatius*	禾本科	欧洲	一年生草本	5	山桃草	*Oenothera lindheimeri*	柳叶菜科	美洲	一年生草本	2
石茅	*Sorghum halepense*	禾本科	亚洲	多年生草本	1	五叶地锦	*Parthenocissus quinquefolia*	葡萄科	美洲	木质藤本	5
节节麦	*Aegilops tauschii*	禾本科	亚洲	一年生草本	2	火炬树	*Rhus typhina*	漆树科	美洲	灌木	5
蒺藜草	*Cenchrus echinatus*	禾本科	美洲	一年生草本	2	曼陀罗	*Datura stramonium*	茄科	亚洲	一年生草本	2
野燕麦	*Avena fatua*	禾本科	欧洲	一年生草本	2	苦蘵	*Physalis angulata*	茄科	亚洲	一年生草本	4
黑麦	*Secale cereale*	禾本科	亚洲	一年生草本	5	野胡萝卜	*Daucus carota*	伞形科	亚洲	二年生草本	2
黑麦草	*Lolium perenne*	禾本科	欧洲	多年生草本	4	大阿米芹	*Ammi majus*	伞形科	亚洲	一年生草本	5
互花米草	*Spartina alterniflora*	禾本科	美洲	多年生草本	1	垂序商陆	*Phytolacca americana*	商陆科	美洲	多年生草本	1
野牛草	*Buchloe dactyloides*	禾本科	美洲	多年生草本	5	北美独行菜	*Lepidium virginicum*	十字花科	美洲	二年生草本	2
刺果瓜	*Sicyos angulatus*	葫芦科	美洲	一年生草本	2	荠	*Capsella bursa-pastoris*	十字花科	亚洲	二年生草本	4
苘麻	*Abutilon theophrasti*	锦葵科	亚洲	一年生草本	3	密花独行菜	*Lepidium densiflorum*	十字花科	美洲	二年生草本	5
野西瓜苗	*Hibiscus trionum*	锦葵科	非洲	一年生草本	4	两栖蔊菜	*Rorippa amphibia*	十字花科	欧洲	一年生草本	3
百日菊	*Zinnia elegans*	菊科	美洲	一年生草本	4	剑麻	*Agave sisalana*	天门冬科	美洲	多年生草本	5
北美苍耳	*Xanthium chinense*	菊科	美洲	一年生草本	3	刺苋	*Amaranthus spinosus*	苋科	美洲	一年生草本	1
大狼耙草	*Bidens frondosa*	菊科	美洲	一年生草本	1	反枝苋	*Amaranthus retroflexus*	苋科	美洲	一年生草本	1
婆婆针	*Bidens bipinnata*	菊科	美洲	一年生草本	3	皱果苋	*Amaranthus viridis*	苋科	非洲	一年生草本	2
小蓬草	*Erigeron canadensis*	菊科	美洲	一年生草本	1	绿穗苋	*Amaranthus hybridus*	苋科	欧洲	一年生草本	2
菊芋	*Helianthus tuberosus*	菊科	美洲	多年生草本	5	长芒苋	*Amaranthus palmeri*	苋科	美洲	一年生草本	1
鬼针草	*Bidens pilosa*	菊科	美洲	一年生草本	1	小藜	*Chenopodium ficifolium*	苋科	美洲	一年生草本	5
三裂叶豚草	*Ambrosia trifida*	菊科	美洲	一年生草本	1	喜旱莲子草	*Alternanthera philoxeroides*	苋科	美洲	多年生草本	5
三叶鬼针草	*Bidens pilosa*	菊科	美洲	一年生草本	1	凹头苋	*Amaranthus blitum*	苋科	非洲	一年生草本	2
药用蒲公英	*Taraxacum officinale*	菊科	亚洲	多年生草本	4	杂配藜	*Chenopodiastrum hybridum*	苋科	欧洲	一年生草本	2
意大利苍耳	*Xanthium strumarium italicum*	菊科	欧洲	一年生草本	2	灰绿藜	*Oxybasis glauca*	苋科	亚洲	一年生草本	4
苏门白酒草	*Erigeron sumatrensis*	菊科	美洲	二年生草本	1	糙果苋	*Amaranthus tuberculatus*	苋科	美洲	一年生草本	3
毒莴苣	*Lactuca serriola*	菊科	欧洲	一年生草本	5	合被苋	*Amaranthus polygonoides*	苋科	美洲	一年生草本	3
金鸡菊	*Coreopsis basalis*	菊科	美洲	一年生草本	5	苋	*Amaranthus tricolor*	苋科	亚洲	一年生草本	4

表 1(续)

Tab.1 (continued)

物种	拉丁名	科	原产地	生活型	入侵等级	物种	拉丁名	科	原产地	生活型	入侵等级
剑叶金鸡菊	*Coreopsis lanceolata*	菊科	美洲	一年生草本	3	北美苋	*Amaranthus blitoides*	苋科	美洲	一年生草本	4
天人菊	*Gaillardia pulchella*	菊科	美洲	一年生草本	5	圆叶牵牛	*Ipomoea purpurea*	旋花科	美洲	一年生草本	1
白花地胆草	*Elephantopus tomentosus*	菊科	美洲	多年生草本	5	牵牛	*Ipomoea nil*	旋花科	美洲	一年生草本	2
矢车菊	*Centaurea cyanus*	菊科	欧洲	二年生草本	5	裂叶牵牛	*Ipomoea nil*	旋花科	美洲	一年生草本	2
秋英	*Cosmos bipinnatus*	菊科	美洲	一年生草本	4	菟丝子	*Cuscuta chinensis*	旋花科	亚洲	一年生草本	5
苦苣菜	*Sonchus oleraceus*	菊科	欧洲	二年生草本	4	日本菟丝子	*Cuscuta japonica*	旋花科	亚洲	一年生草本	5
长喙婆罗门参	*Tragopogon dubius*	菊科	亚洲	二年生草本	3	虞美人	*Papaver rhoeas*	罂粟科	欧洲	一年生草本	5
南美鬼针草	*Bidens subalternans*	菊科	美洲	一年生草本	5	凤眼蓝	*Eichhornia crassipes*	雨久花科	美洲	浮水草本	1
大花金鸡菊	*Coreopsis grandiflora*	菊科	美洲	多年生草本	5	黄菖蒲	*Iris pseudacorus*	鸢尾科	欧洲	多年生草本	5
牛膝菊	*Galinsoga parviflora*	菊科	美洲	一年生草本	2						

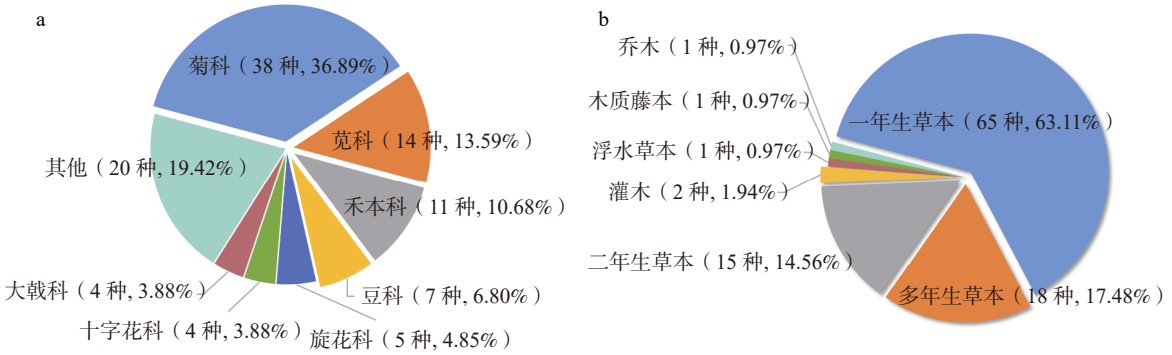


图 2　天津市湿地入侵植物物种组成(a)和生活型(b)占比

Fig. 2　Species composition (a) and life form (b) proportion of invasive plants in wetlands of Tianjin City

入侵植物生活型比例中，除河北区以多年生草本占比较高外，其余各区均以一年生草本占主导，而灌木和乔木的占比相对较低。河东区、河西区和津南区在调查中未发现乔木入侵植物，河东区和河西区仅发现草本入侵植物(图 3)。

2.1.3　原产地

在天津市湿地入侵植物的原产地分布中，美洲是主要的来源地，包含 62 种入侵植物，占入侵植物总数的 60.19%；来自亚洲的入侵植物有 20 种，占比 19.42%；来自欧洲的有 17 种，占比 16.50%。而来自非洲的入侵植物数量最少，仅有 4 种，仅占总数的 3.88%(图 4a)

2.1.4　入侵等级

在天津市湿地入侵植物中，有 19 种 1 级入侵植物，占总数的 18.45%，其中包含菊科植物 10 种，苋科植物 3 种，禾本科植物 2 种，旋花科、商陆科、雨久花科和蒺藜科植物分别 1 种(图 4b，表 1)。在调查中，物种数量较多的小蓬草、圆叶牵牛(*Ipomoea purpurea*)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)、长芒苋(*Amaranthus palmeri*)、大狼耙草(*Bidens frondosa*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)等都属于 1 级入侵植物。2 级入侵植物有 21 种，占总数的 20.39%，其中包含苋科和禾本科植物分别 4 种，菊科和柳叶菜科植物分别 3 种，旋花科植物 2 种，葫芦科、茄科、十字花科、豆科和伞形科植物分别 1 种。在调查中，物种数量较多的曼陀罗(*Datura stramonium*)、皱果苋(*Amaranthus viridis*)、牵牛(*Ipomoea nil*)、扁穗雀麦(*Bromus catharticus*)、白车轴草(*Trifolium repens*)、野燕麦(*Avena fatua*)等都属于 2 级入侵植物。3 级入侵植物有 12 种，占总数的 11.65%；4 级入侵植物有 23 种，占总数的 22.33%；5 级入侵植物有 28 种，占总数的 27.18%(图 4b，表 1)。

2.2　天津市湿地入侵植物网络关系

基于外来入侵植物的生活型、入侵等级、原产地等信息构建 103 种外来入侵植物的网络关系图，将其按照入侵等级划分为 5 类，其中节点的大小表示生活型，点的颜色代表入侵等级，边的颜色为入侵植物的原产地。图 5 显示：相同原产地的外来入侵植物聚集在一起，来自美洲的入侵植物最多，并且以草本植物为主要组成部分，其他类型为乔木刺槐(*Robinia pseudoacacia*)，灌木火炬树(*Rhus typhina*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)，木质藤本五叶地锦

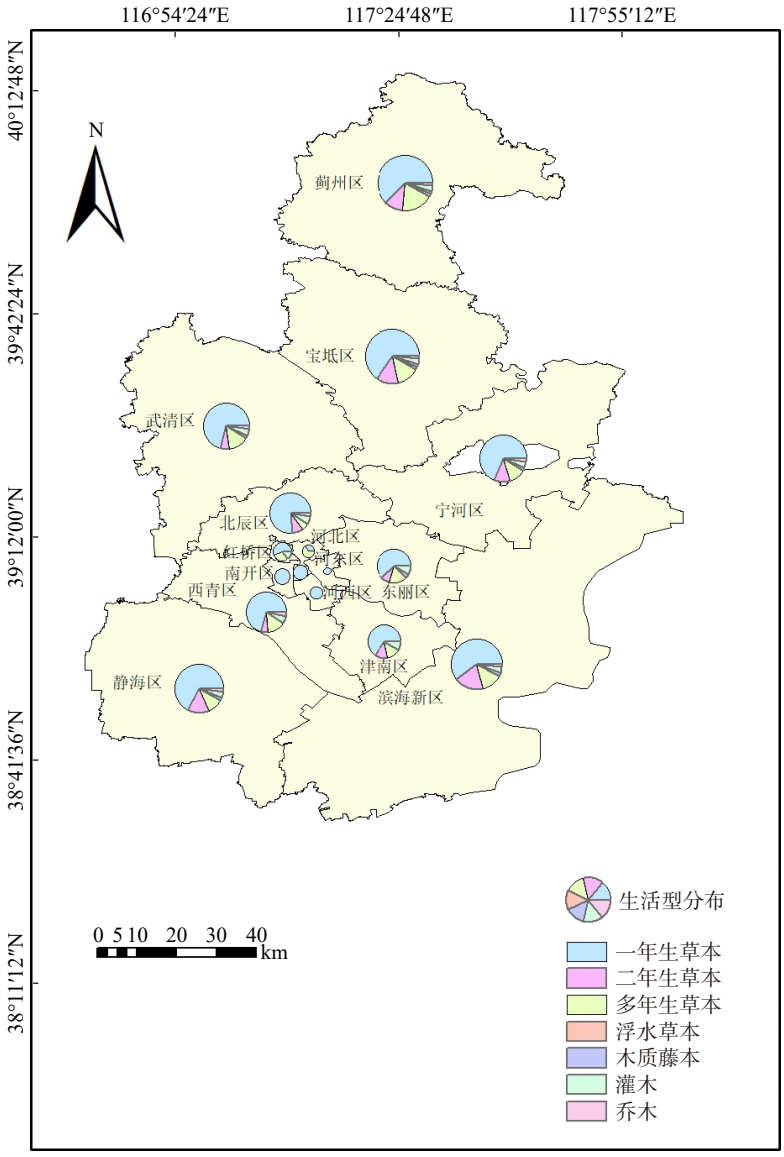


图 3 天津市各区湿地入侵植物生活型比例

Fig. 3 Proportion of life forms of invasive plants in wetlands of various districts in Tianjin City

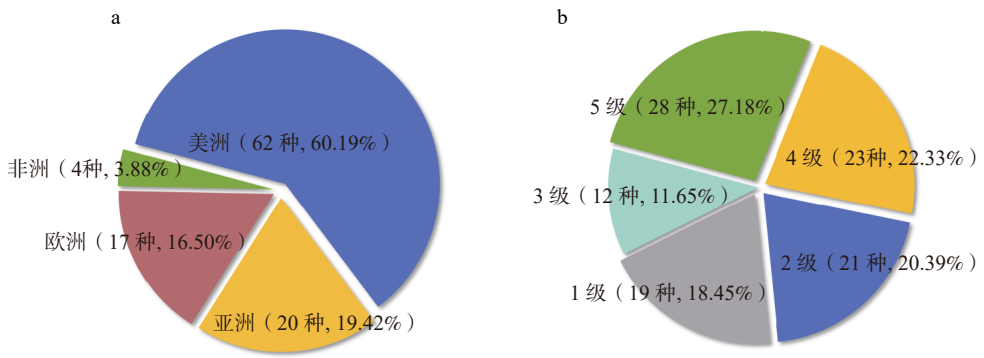


图 4 天津市湿地入侵植物原产地(a)和入侵等级(b)占比

Fig. 4 Proportion of native regions (a) and invasion levels (b) of invasive plants in wetlands of Tianjin City

（*Parthenocissus quinquefolia*）。来自非洲的最少，只有草本植物，入侵等级也只有 2 级和 4 级两种。来自欧洲的入侵植物也是只有草本植物，入侵等级中没有 1 级入侵植物。来自亚洲的入侵植物也是只有草本植物，入侵等级中只有 1 种 1 级入侵植物，为石茅（*Sorghum halepense*）。

2.3 天津市湿地入侵植物分布格局

蓟州区和宝坻区是天津市入侵程度最为严重的区域（图 6，表 2）。蓟州区外来入侵物种有 64 种，其中北美苍耳、圆叶牵牛、小蓬草、垂序商陆（*Phytolacca*

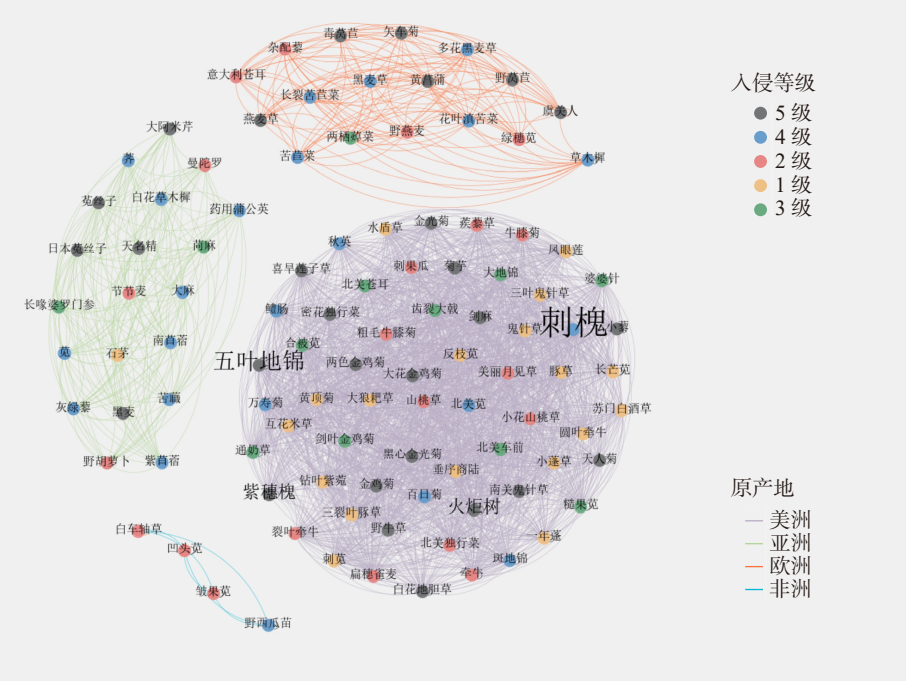


图 5　104 种植物网络关系图

Fig. 5　Network diagram of 104 plant species

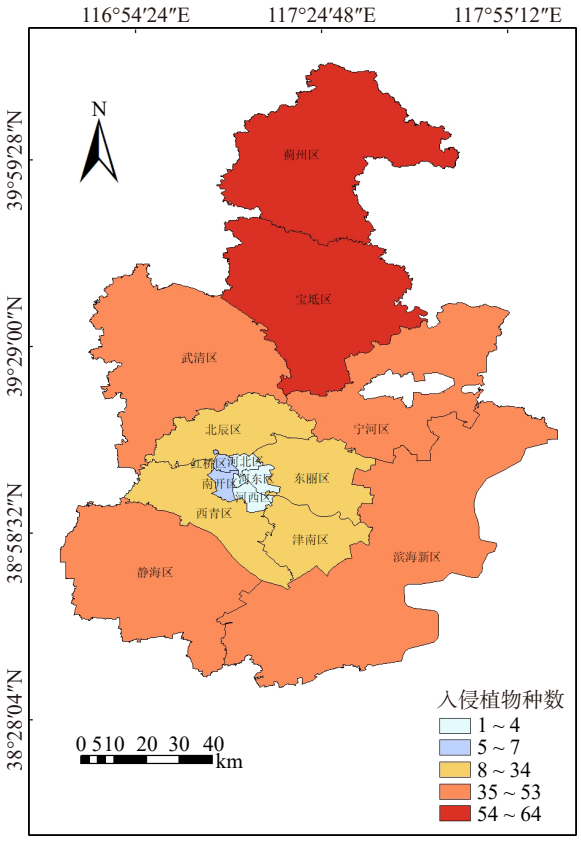


图 6　天津市湿地入侵植物分布格局

Fig. 6　Distribution pattern of invasive plants in wetlands of Tianjin City

americana）、苘麻（*Abutilon theophrasti*）等入侵植物出现频率较高。宝坻区外来入侵物种有 61 种，出现频率较高的入侵植物分别是苘麻、北美苍耳、圆叶牵牛、反枝苋、小蓬草等。此外，滨海新区（53 种）、静海区（49 种）、宁河区（45 种）和武清区（44 种）的入侵情况也较为严重。其中滨海新区出现频率高的入侵植物包括苘麻、小蓬草、反枝苋、北美苍耳等，静海区出现频率高的入侵植物有苘麻、小蓬草、黄顶菊（*Flaveria bidentis*）、反枝苋、北美苍耳等，宁河区出现频率高的入侵植物为北美苍耳、苘麻、反枝苋等，武清区出现频率高的入侵植物包括北美苍耳、反枝苋、苘麻、曼陀罗、小蓬草、圆叶牵牛等。其他区域的入侵物种数量分别为北辰区 34 种、西青区 34 种、东丽区 24 种、津南区 23 种、红桥区 7 种、南开区 5 种、和平区 4 种、河西区 3 种、河北区 3 种、河东区 1 种（表 2）。从调查结果可知，苘麻、小蓬草、北美苍耳、圆叶牵牛、反枝苋、曼陀罗等是天津市常见的入侵植物。

3　讨　　论

生物入侵是全球性的环境问题，对生态系统稳定性、生物多样性和社会经济造成深远影响。湿地作为重要的生态系统，其脆弱性和独特的生态功能使其更容易受到入侵植物的威胁。天津市作为重要的港口城市，频繁的国际贸易和交通活动增加了外来物种引入的风险。尽管已有研究[18]关注天津市互花米草等单一入侵物种或局部区域的植物调查，但目前仍缺乏对全市湿地入侵植物系统性、全面性的研究。因此，本研究通过实地调查和数据分析，明确天津市湿地入侵植物的现状和分布格局，以期为天津市湿地入侵植物的防控提供科学依据。

表 2 天津市各区湿地入侵植物

Tab. 2 Invasive plants in wetlands of various districts in Tianjin City

区（种数）	入侵植物种类
宝坻区(61)	黄菖蒲，毒莴苣，药用蒲公英，北美苍耳，意大利苍耳，金鸡菊，五叶地锦，凤眼蓝莲，凹头苋，刺槐，剑叶金鸡菊，北美独行菜，反枝苋，圆叶牵牛，垂序商陆，多花黑麦草，大狼耙草，大麻，婆婆针，密花独行菜，小蓬草，小藜，扁穗雀麦，曼陀罗，杂配藜，火炬树，灰绿藜，燕麦草，牵牛，白车轴草，皱果苋，矢车菊，秋英，紫穗槐，紫苜蓿，节节麦，苘麻，苦苣菜，苦蘵，草木樨，荠，菊芋，蒺藜草，野燕麦，长喙婆罗门参，长芒苋，鬼针草，黑麦，黑麦草，刺果瓜，糙果苋，斑地锦，两栖蓼菜，南美鬼针草，刺苋，合被苋，天人菊，白花草木樨，一年蓬，野西瓜苗，鳢肠
蓟州区(64)	百日菊，刺果瓜，北美苍耳，五叶地锦，刺苋，反枝苋，圆叶牵牛，大狼耙草，婆婆针，小蓬草，曼陀罗，火炬树，牵牛，皱果苋，紫穗槐，绿穗苋，菊芋，长芒苋，鬼针草，刺槐，垂序商陆，小藜，苘麻，三裂叶豚草，三叶鬼针草，药用蒲公英，意大利苍耳，北美独行菜，苏门白酒草，荠，喜旱莲子草，金鸡菊，天人菊，密花独行菜，小花山桃草，扁穗雀麦，水盾草，白花地胆草，白车轴草，石茅，紫苜蓿，节节麦，草木樨，虞美人，野燕麦，野胡萝卜，黑麦草，牛膝菊，粗毛牛膝菊，黑心金光菊，凤眼蓝，斑地锦，两栖蓼菜，天名精，一年蓬，花叶滇苦菜，苦蘵，菟丝子，通奶草，野西瓜苗，日本菟丝子，大地锦，黄菖蒲，裂叶牵牛
滨海新区(53)	百日菊，美丽月见草，斑地锦，毒莴苣，药用蒲公英，北美苍耳，金鸡菊，南美鬼针草，互花米草，五叶地锦，凹头苋，刺槐，剑叶金鸡菊，北美独行菜，北美车前，反枝苋，圆叶牵牛，大花金鸡菊，婆婆针，密花独行菜，小花山桃草，小蓬草，小藜，扁穗雀麦，曼陀罗，杂配藜，火炬树，灰绿藜，牵牛，白花草木樨，白车轴草，皱果苋，矢车菊，秋英，紫穗槐，紫苜蓿，一年蓬，花叶滇苦菜，苋，苘麻，苦苣菜，草木樨，菊芋，野西瓜苗，钻叶紫菀，长喙婆罗门参，长芒苋，长裂苦苣菜，鬼针草，黄顶菊，绿穗苋，野牛草，野莴苣
静海区(49)	裂叶牵牛，斑地锦，毒莴苣，药用蒲公英，北美苍耳，南美鬼针草，五叶地锦，凹头苋，刺槐，刺苋，剑麻，北美独行菜，北美车前，反枝苋，合被苋，圆叶牵牛，垂序商陆，大狼耙草，大阿米芹，天人菊，婆婆针，小花山桃草，小蓬草，扁穗雀麦，曼陀罗，杂配藜，火炬树，灰绿藜，牵牛，皱果苋，秋英，紫穗槐，紫苜蓿，一年蓬，节节麦，花叶滇苦菜，苋，苏门白酒草，苘麻，苦苣菜，草木樨，菊芋，野燕麦，野西瓜苗，长喙婆罗门参，长芒苋，长裂苦苣菜，黄顶菊，齿裂大戟
宁河区(45)	毒莴苣，北美苍耳，南美鬼针草，五叶地锦，凹头苋，刺槐，剑叶金鸡菊，南苜蓿，反枝苋，圆叶牵牛，垂序商陆，大狼耙草，天人菊，婆婆针，密花独行菜，小蓬草，扁穗雀麦，曼陀罗，杂配藜，火炬树，灰绿藜，牵牛，皱果苋，矢车菊，紫穗槐，紫苜蓿，绿穗苋，节节麦，花叶滇苦菜，苘麻，草木樨，菊芋，豚草，野燕麦，野西瓜苗，长喙婆罗门参，长裂苦苣菜，鬼针草，两色金鸡菊，糙果苋，互花米草，北美苋，菟丝子，钻叶紫菀，鳢肠
武清区(44)	五叶地锦，刺槐，圆叶牵牛，小蓬草，火炬树，刺果瓜，糙果苋，毒莴苣，北美苍耳，两栖蓼菜，凹头苋，反枝苋，垂序商陆，大狼耙草，天人菊，婆婆针，小花山桃草，扁穗雀麦，曼陀罗，牵牛，白车轴草，皱果苋，紫穗槐，紫苜蓿，节节麦，苋，苘麻，苦苣菜，菊芋，野燕麦，长喙婆罗门参，长芒苋，长裂苦苣菜，鬼针草，齿裂大戟，斑地锦，合被苋，杂配藜，灰绿藜，绿穗苋，苦蘵，草木樨，野西瓜苗，金光菊
北辰区(34)	北美苍耳，两栖蓼菜，金鸡菊，南美鬼针草，刺槐，刺苋，反枝苋，圆叶牵牛，大狼耙草，天人菊，婆婆针，密花独行菜，小蓬草，扁穗雀麦，曼陀罗，火炬树，牵牛，皱果苋，秋英，紫穗槐，花叶滇苦菜，苘麻，菊芋，野燕麦，野西瓜苗，长喙婆罗门参，长芒苋，长裂苦苣菜，两色金鸡菊，黄顶菊，药用蒲公英，绿穗苋，菟丝子，鳢肠
津南区(23)	北美苍耳，反枝苋，圆叶牵牛，婆婆针，小花山桃草，小蓬草，山桃草，曼陀罗，火炬树，牵牛，白花草木樨，白车轴草，皱果苋，秋英，紫穗槐，紫苜蓿，花叶滇苦菜，苘麻，草木樨，菊芋，野西瓜苗，长喙婆罗门参，长芒苋
西青区(34)	斑地锦，毒莴苣，北美苍耳，金鸡菊，南美鬼针草，凹头苋，刺槐，刺苋，反枝苋，圆叶牵牛，垂序商陆，天人菊，婆婆针，小花山桃草，小蓬草，曼陀罗，火炬树，灰绿藜，牵牛，皱果苋，秋英，紫穗槐，紫苜蓿，花叶滇苦菜，苘麻，菊芋，野西瓜苗，长喙婆罗门参，长芒苋，鬼针草，黄顶菊，药用蒲公英，白车轴草，草木樨
东丽区(24)	北美苍耳，南美鬼针草，五叶地锦，反枝苋，圆叶牵牛，婆婆针，小蓬草，扁穗雀麦，曼陀罗，火炬树，白车轴草，皱果苋，紫穗槐，紫苜蓿，一年蓬，苘麻，草木樨，菊芋，长喙婆罗门参，长芒苋，药用蒲公英，两栖蓼菜，万寿菊，野西瓜苗
红桥区(7)	药用蒲公英，火炬树，皱果苋，紫苜蓿，苘麻，长芒苋，鳢肠
河北区(3)	药用蒲公英，小蓬草，白车轴草
南开区(5)	圆叶牵牛，婆婆针，小蓬草，皱果苋，苘麻
和平区(4)	反枝苋，小蓬草，皱果苋，苘麻
河东区(1)	圆叶牵牛
河西区(3)	婆婆针，牵牛，苘麻

3.1 天津湿地入侵物种特征

天津市外来入侵植物的调查结果显示，菊科植物在入侵植物中占据主导地位，占比高达 36.89%。这一现象主要归因于菊科植物独特的生物学特性，包括种子小、数量多、具冠毛等[26]；以及兼具无性繁殖和有性繁殖的双重繁殖形式[27]，使其具备极强的扩散和竞争能力。同时，菊科植物在抗逆性方面表现突出，耐旱[28]、耐热[29]、耐盐[30]和耐寒[31]等多种适应性特征使其能够在天津多样的生境中生存，而观赏性菊科植物的引种可能进一步促进了该科入侵植物的传播[32]。在生活型方面，天津市湿地入侵植物以草本植物为主，这与全球湿地以木本和灌木为主的入侵模式形成鲜明对比[33]。草本植物因其生长周期短[34]、繁殖方式灵活[34]以及广泛的生态适应性（如耐旱、耐湿、耐盐碱等特性）[35]，在天津湿地环境中表现出更强的竞争优势。从原产地来看，美洲来源的入侵植物在天津占据较高比例，这可能是由于美洲与天津地理隔离程度高，导致这些植物在本地缺乏天敌或竞争者[36]。在大陆板块分开前，中美植物生态策略的相似性可能增强了美洲植物的入侵潜力[37]。而全球化贸易的加剧则为这些植物的远距离传播提供了途径[38]。综上所述，天津市湿地入侵植

物多为菊科、草本植物，原产地来自美洲的植物占比大，这与许光耀等[39]在中国归化植物组成特征及其时空分布格局分析中的研究结果相符合，但区别于郭佳琦等[40]的研究结果。

3.2　天津湿地入侵分布格局

天津市湿地生态系统中外来入侵植物的空间分布格局呈现显著的区域异质性。基于实地调查数据，宝坻区、滨海新区和蓟州区表现出较高的入侵程度，静海区、宁河区和武清区次之。这种分布特征可能与区域经济发展水平呈现显著相关性。具体而言，经济发展核心区域由于具备完善的交通网络、频繁的国际贸易活动[5]以及充足的科研经费支持[41]等多方面因素，为外来植物的引入和扩散提供了更多潜在途径。相比之下，中心城区（红桥区、南开区、和平区、河西区、河北区和河东区）的入侵植物丰富度相对较低。这一现象可能与研究样地设置有关，调查样点主要分布于具有较大水体（水库、湖泊）的乡镇区域，而高度城市化的中心城区自然湿地面积有限，导致外来物种定植的生态位减少[42]。

3.3　研究不足与展望

样线和样方法被广泛应用于物种调查中，样线法适用于过渡的群落结构分析，样方法适用于分析特定区域内的植物分布，这两种方法可以覆盖踏查范围内所有类型的入侵物种生境[43]。此外，这两种方法均能获取入侵植物的种类、分布、数量等关键信息，有助于评估入侵植物的物种组成、生活型、入侵等级和分布格局。但样线和样方的选择可能会受到调查者主观的影响，且样线或样方设置的随机性和代表性不足易导致调查结果出现偏差[44]。所以，未来可结合遥感影像与机器学习算法（如目标检测模型）预判入侵热点区域，指导分层随机抽样[45]；同时引入无人机航测与地面验证相结合的技术体系，提升调查的客观性和覆盖度[46]。这些研究将有助于完善入侵植物的监测体系，并为生物多样性的保护提供技术支撑。

4　结　　论

本研究针对天津市湿地入侵植物缺乏系统性研究的现状，通过实地调查和结合文献数据，利用 ArcGIS 和 Gephi 软件对入侵植物的物种组成、生活型、原产地、入侵等级及空间分布格局进行了综合分析，研究结论如下。

（1）天津市湿地共记录入侵植物 103 种，隶属 22 科 67 属，其中菊科占比最高（36.89%），其次是苋科（13.59%）、禾本科（10.68%）和豆科（6.80%）。入侵植物的生活型以草本植物占绝对优势，占比达 96.12%，其中一年生草本占比最高（63.11%），多年生草本次之（17.48%）。

（2）入侵植物的主要原产地为美洲（60.19%），其次是亚洲（19.42%）和欧洲（16.50%）。入侵等级较高，防控形势严峻，其中 1 级（恶性入侵）和 2 级（严重入侵）植物占比分别达 18.45% 和 20.39%，如小蓬草、圆叶牵牛、反枝苋等，表明天津市湿地生态系统面临较高的入侵风险。

（3）空间分布呈现区域差异：蓟州区（64 种）和宝坻区（61 种）入侵植物种类最多，而河东区（1 种）和河西区（3 种）最少，这与区域经济发展水平、人为活动强度和湿地管理措施密切相关。

本研究首次系统揭示了天津市湿地入侵植物的现状和分布格局，为天津市湿地生态保护、入侵植物防控、区域性防控策略的制定提供了科学依据。未来研究可结合长期动态监测和分子生态学手段，深入探究入侵植物的扩散机制和生态影响，同时加强公众教育和政策监管，以更有效地保护湿地生态系统的稳定性与生物多样性。

参　考　文　献

[1] Marin P, Genitoni J, Barloy D, et al. Biological invasion: the influence of the hidden side of the (epi) genome[J]. Functional Ecology, 2020, 34(2): 385−400.

[2] 李伟华. 外来物种入侵的危害与治理 [J]. 国家治理, 2023(20): 54−58.
Li W H. The harm and management of invasive alien species[J]. Governance, 2023(20): 54−58.

[3] 赵光华, 高明龙, 王朵, 等. 全球入侵植物的经济成本评估 [J]. 草业学报, 2024, 33(5): 16−24.
Zhao G H, Gao M L, Wang D, et al. Economic cost assessment of global invasive plants[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2024, 33(5): 16−24.

[4] Prabhat K R, Singh J S. Invasive alien plant species: their impact on environment, ecosystem services and human health[J]. Ecological Indicators, 2020, 111: 106020.

[5] Lopez B, Allen J M, Dukes J S, et al. Global environmental changes more frequently offset than intensify detrimental effects of biological invasions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2022, 119(22): e2117389119.

[6] 孙士国, 卢斌, 卢新民, 等. 入侵植物的繁殖策略以及对本土植物繁殖的影响 [J]. 生物多样性, 2018, 26(5): 457−467.
Sun S G, Lu B, Lu X M, et al. On reproductive strategies of invasive plants and their impacts on native plants[J]. Biodiversity Science, 2018, 26(5): 457−467.

[7] 熊韫琦, 赵彩云. 表型可塑性与外来植物的成功入侵 [J]. 生态学杂志, 2020, 39(11): 3853−3864.
Xiong W Q, Zhao C Y. Phenotypic plasticity and the successful invasion of alien plants[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020,

39(11): 3853−3864.

[8] 廖慧璇, 周婷, 陈宝明, 等. 外来入侵植物的生态控制 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2021, 60(4): 1−11.
Liao H X, Zhou T, Chen B M, et al. Ecological control of exotic invasive plants[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2021, 60(4): 1−11.

[9] 许光耀, 李洪远, 莫训强, 等. 入侵植物生态效应及其影响因素研究进展 [J]. 安全与环境学报, 2018, 18(1): 375−380.
Xu G Y, Li H Y, Mo X Q, et al. Research review on the advances of the invasive plants and the ecological effects of the related factors concerned[J]. Journal of Safety and Environment, 2018, 18(1): 375−380.

[10] Schulz A N, Lucardi R D, Marsico T D. Successful invasions and failed biocontrol: the role of antagonistic species interactions[J]. BioScience, 2019, 69(9): 711−724.

[11] 张明祥. 湿地保护助力美丽中国建设 [J]. 绿色中国, 2024(11): 42−45.
Zhang M X. Wetland protection helps build a beautiful China[J]. Green China, 2024(11): 42−45.

[12] 裴理鑫, 叶思源, 何磊, 等. 中国湿地资源与开发保护现状及其管理建议 [J]. 中国地质, 2023, 50(2): 459−478.
Pei L X, Ye S Y, He L, et al. Wetland resources, development and protection in China and management recommendations[J]. Geology in China, 2023, 50(2): 459−478.

[13] 刘展航, 张树岩, 侯玉平, 等. 互花米草入侵对黄河口湿地土壤碳氮磷及其生态化学计量特征的影响 [J]. 生态环境学报, 2022, 31(7): 1360−1369.
Liu Z H, Zhang S Y, Hou Y P, et al. Effects of *Spartina alterniflora* invasion on soil carbon, nitrogen, phosphorus and their ecostoichiometric characteristics in the Yellow River estuary wetlands[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2022, 31(7): 1360−1369.

[14] Lone P A, Dar J A, Subashree K, et al. Impact of plant invasion on physical, chemical and biological aspects of ecosystems: a review[J]. Tropical Plant Research, 2019, 6(3): 528−544.

[15] 解雪峰, 孙晓敏, 吴涛, 等. 互花米草入侵对滨海湿地生态系统的影响研究进展 [J]. 应用生态学报, 2020, 31(6): 2119−2128.
Xie X F, Sun X M, Wu T, et al. Impacts of *Spartina alterniflora* invasion on coastal wetland ecosystem: advances and prospects[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(6): 2119−2128.

[16] 提杨, 庄鸿飞, 陈敏豪, 等. 天津市自然保护地与区域生境质量的时空演变格局 [J]. 生态学报, 2023, 43(7): 2770−2780.
Ti Y, Zhuang H F, Chen M H, et al. Spatio-temporal evolution pattern of protected areas and regional habitat quality in Tianjin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(7): 2770−2780.

[17] 刘红磊, 李艳英, 周滨, 等. 北方滨海人工湿地水生生物群落快速重建目标及适宜物种清单确定——以天津临港二期湿地为例 [J]. 生态学报, 2021, 41(15): 6091−6102.
Liu H L, Li Y Y, Zhou B, et al. Determination of biological community reconstruction targets and suitable species list for constructed wetland in north China coastal area: a case study of Tianjin Lingang Constructed Wetland (Phase II)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(15): 6091−6102.

[18] 王红, 阚文静, 谭晓璇, 等. 互花米草化学治理对天津附近海域水质和沉积物质量的影响 [J]. 海洋通报, 2022, 41(5): 572−581.
Wang H, Kan W J, Tan X X, et al. Effects of chemical control of *Spartina alterniflora* on water quality and sediment quality in the sea area near Tianjin[J]. Marine Science Bulletin, 2022, 41(5): 572−581.

[19] 李中林, 孟炜淇, 楚克林, 等. 天津大黄堡省级自然保护区外来入侵植物的调查与分析 [J]. 杂草学报, 2021, 39(2): 20−27.
Li Z L, Meng W Q, Chu K L, et al. Investigation and analysis of alien invasive plants in Dahuangpu Nature Reserve[J]. Journal of Weed Science, 2021, 39(2): 20−27.

[20] Xiao J Y, Wang Q, Dai J J, et al. Urban residents' green Agro-Food consumption: perceived risk, decision behaviors, and policy implications in China[J]. Sustainability, 2023, 15(13): 10505.

[21] Zhang Z X, Wei Y Z, Li X T, et al. Study on Tianjin land-cover dynamic changes, driving factor analysis, and forecasting[J]. Land, 2024, 13(6): 726.

[22] 陈辅国, 郭爱请, 武爱彬, 等. 京津冀城市群城市扩张格局演变及其对生态环境质量的影响 [J]. 环境科学, 2024: 1−19.
Chen F G, Guo A Q, Wu A B, et al. Evolution of urban expansion pattern and its impact on ecological environment quality in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Environmental Science, 2024: 1−19.

[23] 刘德义, 傅宁, 范锦龙. 近 20 年天津地区植被变化及其对气候变化的响应 [J]. 生态环境学报, 2008, 17(2): 798−801.
Liu D Y, Fu N, Fan J L. Dynamic change of vegetation cover and its response to climate change in recent 20 years in Tianjin area[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2008, 17(2): 798−801.

[24] 高越. 基于生态系统服务时空演变的天津市湿地退化评价研究 [D]. 天津: 南开大学, 2022.
Gao Y. Evaluation of wetland degradation based on temporal and spatial evolution of ecosystem services in Tianjin[D]. Tianjin: Nankai University, 2022.

[25] 闫小玲, 刘全儒, 寿海洋, 等. 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析 [J]. 生物多样性, 2014, 22(5): 667−676.
Yan X L, Liu Q R, Shou H Y, et al. The categorization and analysis on the geographic distribution patterns of Chinese alien invasive plants[J]. Biodiversity Science, 2014, 22(5): 667−676.

[26] 何佳昕, 单利平, 刘艳杰. 中国湿地外来入侵植物分布特征及其影响因素 [J]. 湿地科学, 2025, 23(1): 1−15.
He J X, Shan L P, Liu Y J. Spatial distribution and influencing factors of invasive alien plants in wetlands of China[J]. Wetland Science, 2025, 23(1): 1−15.

[27] 陈琼, 李肖夏, 王慧. 菊科 12 种外来植物的有性繁殖特征和入侵风险研究 [J]. 植物科学学报, 2018, 36(3): 345−353.
Chen Q, Li X X, Wang H. Investigation on sexual reproduction and invasion risk of 12 alien Compositae species[J]. Plant Science Journal, 2018, 36(3): 345−353.

[28] 刘洋, 张鸿翎, 韩涛. 干旱胁迫对 4 种菊科宿根花卉生理特性的

影响 [J]. 西北林学院学报, 2021, 36(5): 76−81.
Liu Y, Zhang H L, Han T. Effects of drought stress on physiological characteristics of four perennial flower species of Compositae[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(5): 76−81.

[29] 张开明, 陈敏, 田耕, 等. 5 种观赏秋菊耐热性差异的生理机制分析 [J]. 内蒙古农业大学学报 (自然科学版), 2022, 43(2): 6−10.
Zhang K M, Chen M, Tian G, et al. Physiological mechanism analysis of differences in heat resistance of five ornamenta *Chrysanthemums*[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2022, 43(2): 6−10.

[30] 杨海燕, 孙明. 3 份典型菊属野生种耐盐性及其解剖结构比较 [J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(1): 62−66.
Yang H Y, Sun M. Salt-tolerance and anatomical features of three typical *Chrysanthemum* species[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2016, 44(1): 62−66.

[31] Arce C C M, Bont Z M, Machado R A R, et al. Adaptations and responses of the common dandelion to low atmospheric pressure in high-altitude environments[J]. Journal of Ecology, 2021, 109(10): 3487−3501.

[32] van Kleunen M, Essl F, Pergl J, et al. The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions[J]. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 2018, 93(3): 1421−1437.

[33] 王牧, 程丹丹, 阎惠香, 等. 湖北神农架大九湖国家湿地公园外来入侵植物调查与风险评估 [J]. 湿地科学, 2023, 21(3): 387−394.
Wang M, Cheng D D, Yan H X, et al. Investigation and risk assessment of alien invasive plants in Dajiuhu National Wetland Park in Shennongjia, Hubei[J]. Wetland Science, 2023, 21(3): 387−394.

[34] 张涵丹, 康希睿, 邵文豪, 等. 不同类型杉木人工林林下草本植物多样性特征 [J]. 生态学报, 2021, 41(6): 2118−2128.
Zhang H D, Kang X R, Shao W H, et al. Characteristics of herbaceous plant biodiversity in *Cunninghamia lanceolate* plantations with different community structures[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(6): 2118−2128.

[35] 席璐璐, 猴倩倩, 王国华, 等. 荒漠绿洲过渡带一年生草本植物对干旱胁迫的响应 [J]. 生态学报, 2021, 41(13): 5425−5434.
Xi L L, Hou Q Q, Wang G H, et al. The responses of typical annual herbaceous plants to drought stress in a desert-oasis ecotone[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(13): 5425−5434.

[36] Zhang Z J, van Kleunen M. Common alien plants are more competitive than rare natives but not than common natives[J]. Ecology Letters, 2019, 22(9): 1378−1386.

[37] 强胜, 张欢. 中国农业生态系统外来植物入侵及其管理现状 [J]. 生物多样性, 2022, 45(5): 957−980.
Qiang S, Zhang H. Invasion and management of alien plants in agroecosystems in China[J]. Biodiversity Science, 2022, 45(5): 957−980.

[38] Daniel C, Bethan V P, Helen E R, et al. Global trade networks determine the distribution of invasive non-native species[J]. Global Ecology and Biogeography, 2017, 26(8): 907−917.

[39] 许光耀, 李洪远, 莫训强, 等. 中国归化植物组成特征及其时空分布格局分析 [J]. 植物生态学报, 2019, 43(7): 601−610.
Xu G Y, Li H Y, Mo X Q, et al. Composition and spatial-temporal distribution of Chinese naturalized plants[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2019, 43(7): 601−610.

[40] 郭佳琦, 陈俊辰, 黄旬, 等. 喜旱莲子草入侵群落主要物种生态位和种间联结研究 [J]. 生态环境学报, 2021, 30(8): 1607−1616.
Guo J Q, Chen J C, Huang X, et al. Niche characteristics and interspecific associations of the dominant species of the communities nvaded by *Alternanthera philoxeroides*[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(8): 1607−1616.

[41] 赵彩云, 柳晓燕, 李飞飞, 等. 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 [J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2532−2541.
Zhao C Y, Liu X Y, Li F F, et al. The distribution pattern and determinant factors of the main invasive alien plants in national nature reserves in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2532−2541.

[42] 赵云峰, 赵彩云, 朱金方, 等. 北京市典型公园外来入侵植物分布格局 [J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3656−3665.
Zhao Y F, Zhao C Y, Zhu J F, et al. Distribution pattern of alien invasive plants in typical parks in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(9): 3656−3665.

[43] Sabina B, Giovanni T, Yoan P, et al. Handbook of field sampling for multi-taxon biodiversity studies in European forests[J]. Ecological Indicators, 2021, 132: 108266.

[44] 张芳. 浅谈外来入侵植物的普查方法及踏查注意事项 [J]. 河南农业, 2024(1): 13−14.
Zhang F. Introduction to the census methodology of invasive alien plants and the precautions to be taken in treading surveys[J]. Agriculture of Henan, 2024(1): 13−14.

[45] Htun N M, Owari T, Tsuyuki S, et al. Integration of unmanned aerial vehicle imagery and machine learning technology to map the distribution of conifer and broadleaf canopy cover in uneven-aged mixed forests[J]. Drones, 2023, 7(12): 705−707.

[46] Will J L, Jodi B, Andrew M, et al. Comparison of different analytical strategies for classifying invasive wetland vegetation in imagery from unpiloted aerial systems (UAS)[J]. Remote Sensing, 2021, 13(23): 4733.

（责任编辑　赵田芸
责任编委　崔国发）