

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.24066

CSTR: 32231.14.PSJ.2095-0837.24066

于楚, 于胜祥, 冯朝阳, 李卓卿. 山东无棣维管植物多样性格局与优先保护对策 [J]. 植物科学学报, 2025, 43 (2): 192~200

Yu C, Yu SX, Feng CY, Li ZQ. Distribution patterns and priority conservation of vascular plants in Wudi, Shandong [J]. *Plant Science Journal*, 2025, 43 (2): 192~200

## 山东无棣维管植物多样性格局与优先保护对策

于楚<sup>1,2</sup>, 于胜祥<sup>3</sup>, 冯朝阳<sup>2</sup>, 李卓卿<sup>2\*</sup>

(1. 郑州大学生态与环境学院, 郑州 450001; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

**摘要:** 为了解山东无棣县维管植物的多样性及其分布特征, 本研究对该地区进行了野外调查。结果显示: (1) 无棣县共有维管植物 72 科 235 属 346 种, 其中, 蕨类植物 1 科 1 属 1 种, 裸子植物 3 科 7 属 11 种, 被子植物 68 科 227 属 334 种。植物多样性较高, 但草本植物占比较高, 木本植物相对较少, 群落组成较简单。(2) 空间分布上, 物种丰富度自北向南明显增加, 热点分布相对集中, 但各热点之间较为孤立。(3) 植物区系成分中外来植物占比较高, 且外来入侵植物较多。总体而言, 无棣县的维管植物群落结构相对简单, 外来入侵植物问题突出。建议加强本土植物资源的引种培育和利用, 提升对外来入侵物种的管控能力, 增强物种多样性。

**关键词:** 维管植物; 外来入侵; 分布格局; 区系组成; 多样性保护; 保护对策

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 2095-0837 (2025) 02-0192-09

## Distribution patterns and priority conservation of vascular plants in Wudi, Shandong

Yu Chu<sup>1,2</sup>, Yu Shengxiang<sup>3</sup>, Feng Chaoyang<sup>2</sup>, Li Zuoqing<sup>2\*</sup>

(1. School of Ecology and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** This study investigated the diversity and spatial distribution of vascular plants in Wudi County through a comprehensive field survey. Results indicated that: (1) Wudi County harbored 346 vascular plant species distributed across 72 families and 235 genera, comprising one family, one genus, and one species of ferns; three families, seven genera, and 11 species of gymnosperms; and 68 families, 227 genera, and 334 species of angiosperms. While the region exhibited high plant diversity, herbaceous plants accounted for a large proportion, with relatively few woody plants, resulting in a structurally simple plant community. (2) Species richness increased significantly from north to south, with biodiversity hotspots occurring in distinct clusters, although these clusters remained spatially isolated. (3) The flora was characterized by a high proportion of alien species, with several invasive taxa posing significant ecological threats. Overall, the vascular plant community in Wudi County is relatively simple, and the invasive species present a pressing challenge. To enhance biodiversity conservation, efforts should focus on promoting the introduction and cultivation of native plant species while strengthening the management of invasive alien taxa.

**Key words:** Vascular plants; Alien invasion; Distribution pattern; Floristic composition; Diversity conservation; Conservation strategy

收稿日期: 2024-04-20, 接受日期: 2024-06-18。

基金项目: 生态源地识别与生态修复评估研究项目 (2022YSKY-08)。

作者简介: 于楚 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物多样性 (E-mail: [3434629206@qq.com](mailto:3434629206@qq.com))。

\* 通信作者 (Author for correspondence. E-mail: [706665597@qq.com](mailto:706665597@qq.com))。

物种多样性作为生物多样性的重要组成部分, 是生态系统功能的基本保障<sup>[1]</sup>。植物多样性是生物多样性在植物物种水平的表现形式, 生物多样性的研究常以植物多样性研究为重要依托<sup>[2]</sup>。植物区系能够综合反映植物在环境中的分布和演化, 为研究不同时空尺度上的植物演化提供了重要依据<sup>[3]</sup>。维管植物包括石松类、蕨类、裸子植物和被子植物<sup>[4]</sup>, 其对环境的适应性高, 种类繁多, 数量庞大, 在植物资源中占据主导地位<sup>[5]</sup>。在陆地生态系统中, 作为初级生产者, 维管植物为陆地动物提供了栖息地和繁殖场所, 也为保护生物多样性及生态系统平衡做出重要贡献<sup>[6]</sup>。过去的研究更多地关注生物多样性相对较高的山地、河湖流域和自然保护区的植物多样性和区系研究, 而忽略了经济快速发展与生物多样性之间矛盾相对突出的代表性区域内植物的研究<sup>[7]</sup>。

无棣县地处山东省最北部, 濒临渤海湾, 属于滨海平原和黄泛平原<sup>[8]</sup>。该地区地势南高北低, 大致由西南向东北倾斜, 属于北温带东亚季风区大陆性气候, 境内有多条河流流经<sup>[9]</sup>, 植被丰富多样。无棣县地处沿海, 近年来经济快速发展, 由此而引起的生境破碎化、生态服务功能退化与外来入侵植物增加等问题日益严重<sup>[10, 11]</sup>。然而, 无棣县的植物多样性调查基础薄弱, 对该区域的植物组成和区系特征缺乏了解, 限制了该地区对维管植物多样性保护和利用的科学评价与管理决策。在全球生物多样性日益减少的背景下, 在无棣县开展维管植物多样性与分布特征研究, 是科学评价该地区植物资源特色及其生态功能地位的重要基础和必要前提。

本文通过实地调查无棣县的维管植物资源情况, 分析植物多样性及其空间分布格局, 探讨影响植物多样性的因素, 并提出改善植物多样性的建议, 以期为该地区植物资源的合理利用和生物多样性保护提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

无棣县位于山东省最北部, 地理坐标为 $37^{\circ}04' \sim 38^{\circ}16'N$ ,  $117^{\circ}31' \sim 118^{\circ}04'E$ , 南北最长约70 km, 东西最宽约60 km, 总面积 $208\,977\text{ hm}^2$ 。无棣县地势较为平坦, 地形起伏较小, 南高北低,

大致由西南向东北倾斜。该地区以平原、丘陵和河谷为主, 生态环境脆弱。区域内属于北温带东亚季风区大陆性气候, 四季分明, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥。无棣县土壤主要为潮土、盐土、滨海盐化潮土, 盐碱化程度高, 且总体盐碱化程度加剧<sup>[12, 13]</sup>。

### 1.2 调查方法

本研究对无棣县全境开展维管植物实地调查, 按5 km边长将无棣县划分为40个正六边形调查网格, 结合均匀分布法和层次分布法进行综合布点, 覆盖无棣县森林、灌木、草地、湿地、农田和城镇等生态系统类型。于2023年6月份采取线路调查法<sup>[14]</sup>对维管植物开展野外调查, 通过踏查法对设定的线路进行调查, 拍照并记录观测到的植物种类、分布、生境等信息, 同时记录外来入侵物种状况。调查过程中, 由于植被类型相对简单, 每条调查样线长度设置为1~2 km。共设置54条样线, 覆盖全部40个网格(图1)。

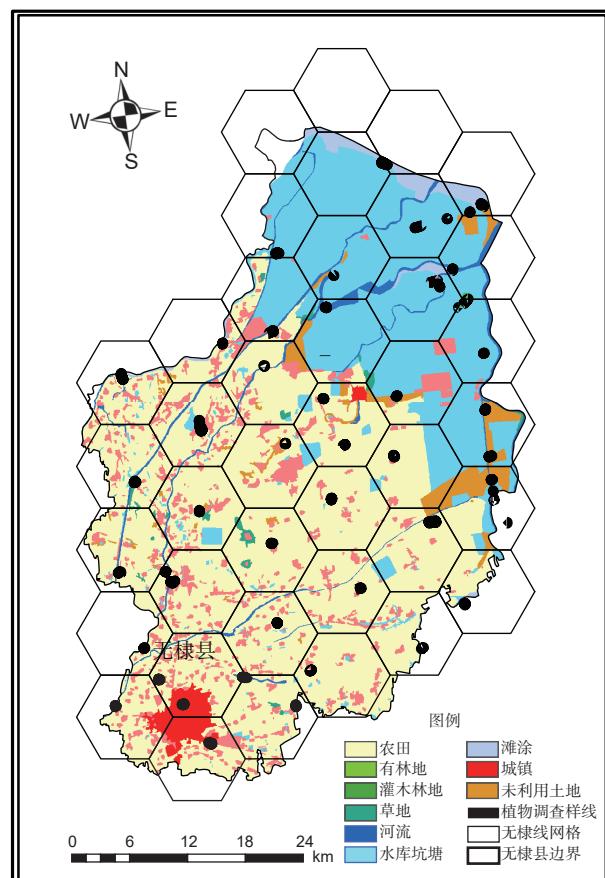


图1 无棣县植物调查样线  
Fig. 1 Wudi County plant survey sample line

### 1.3 数据处理

参考 *Flora of China*<sup>[15]</sup>、《中国植物志》<sup>[16]</sup>、和《中国高等植物图鉴》<sup>[17]</sup>等相关著作进行植物鉴定。并根据最新的《生物物种名录 2023 版》(<http://www.sp2000.org.cn/>) 将异名进行了更新处理, 保留了所有种下分类等级(包括亚种和变种)。根据《中国外来入侵植物志》<sup>[18]</sup>、《中国外来入侵和归化植物名录 2023 版》(<https://www.cvh.ac.cn/iapc/>) 确定无棣县外来植物以及外来入侵植物的科、属、原产地、入侵级别等相关信息。根据中华人民共和国生态环境部发布的《中国生物多样性红色名录——高等植物卷 2020》([www.mee.gov.cn](http://www.mee.gov.cn)) 明确植物的濒危等级。

### 1.4 物种丰富度

物种丰富度的分布格局是量化物种多样性热点最常用的指标<sup>[19, 20]</sup>。本研究中, 物种丰富度用每个网格中的物种数表示。首先计算 3 个植物类群(蕨类、裸子和被子植物)的物种丰富度, 并进行标准化。然后, 对不同植物类群的物种丰富度进行求和, 得到每个网格单元的综合物种丰富度(*SR*), 公式如下:

$$SR = \sum_{i=1}^n X_{i,SR} / X_{i,max} \{ n | 1 \leq n \leq 3, n \in \mathbb{N}^+ \}$$

式中,  $X_{i,max}$  代表各植物属性物种丰富度的最大数量,  $X_{i,SR}$  代表各网格中各植物属性物种丰富度( $X_{1-3}$  代表不同植物类群)。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物种组成

调查表明, 无棣县维管植物有 346 种, 隶属于 235 属 72 科, 分别占山东省种子植物(野生植物)科(123 科)、属(597 属)、种(1 500 种)总数的 59.34%、39.36% 和 23.06%。其中, 被子植物 68 科 227 属 334 种, 分别占总科、属、种

的 94.5%、96.6%、96.5%; 裸子植物 3 科 7 属 11 种, 分别占总科、属、种的 4.1%、3.0%、3.2%; 蕨类植物 1 科 1 属 1 种, 分别占总科、属、种的 1.4%、0.4%、0.3% (表 1)。在所调查的植物中, 栽培植物有 61 种, 外来入侵植物有 57 种。仅调查到 1 种重点保护植物, 为国家二级重点保护植物野大豆 (*Glycine soja* Siebold & Zucc)。该地区还有 1 种极危(CR)植物苏铁 (*Cycas revoluta* Thunb); 1 种濒危(EN)植物银杏 (*Ginkgo biloba* L.), 但二者均为栽培种。

从科内属的数量来看, 排前 10 位的大科有禾本科(32 属)、菊科(28 属)、豆科(20 属)、藜科(9 属)、蔷薇科(7 属)、十字花科(7 属)、唇形科(6 属)、木犀科(6 属)、锦葵科(5 属)。从科内种的数量来看, 含 8 种以上的科有菊科(49 种)、禾本科(40 种)、豆科(27 种)、藜科(15 种)、蔷薇科(12 种)、蓼科(11 种)、木犀科(11 种)、十字花科(9 种)、唇形科(8 种)、茄科(8 种), 共计 10 科, 占总科数的 13.7%; 含 3~7 种的有 21 科, 占总科数的 28.8%; 含 2 种的有 18 科, 占总科数的 24.7%; 仅有 1 种的有 23 科, 占总科数的 31.5%。

从属内种的数量来看, 排前 10 位的大属有蒿属(*Artemisia*)(9 种)、蓼属(*Persicaria*)(7 种)、苋属(*Amaranthus*)(7 种)、女贞属(*Ligustrum*)(5 种)、酸模属(*Rumex*)(5 种)、薊属(*Cirsium*)(4 种)、藜属(*Chenopodium*)(4 种)、李属(*Prunus*)(4 种)、苹果属(*Malus*)(4 种)以及茄属(*Solanum*)(4 种)。

### 2.2 生活型组成

将生活习性、结构和外观形态相似的植物归为一类, 称为植物生活型<sup>[21]</sup>。对无棣县维管植物的生活型进行统计分析。结果显示, 无棣县植物种

表 1 无棣县维管植物科、属和种组成  
Table 1 Composition of vascular plant families, genera, and species in Wudi County

分类群 Group type	科 Family			属 Genus			种 Species		
	数量 Number	占比 Proportion / %	数量 Number						
蕨类植物	1	1.4	1	0.4	1	0.3			
裸子植物	3	4.1	7	3.0	11	3.2			
被子植物	68	94.5	227	96.6	334	96.5			
合计	72	100	235	100	346	100			

类以草本植物为主, 共 155 种, 隶属于 110 属, 35 科; 木本植物 22 种, 隶属于 20 属, 15 科。此外, 草本植物中有 9 个物种为草质藤本, 隶属于 8 个属, 6 个科。木本植物中也有两个木质藤本类型的种, 分属于两个属两个科。草本植物中, 物种丰富度较高的科有菊科(31 种)、禾本科(24 种)、藜科(12 种)和蓼科(11 种)。木本植物中, 物种丰富度较高的有木犀科(3 种)、豆科(3 种)、忍冬科(2 种)和桑科(2 种)。

### 2.3 植物区系分析

根据吴征镒等<sup>[22]</sup>关于种子植物科的分布区类型划分原则和依据, 统计无棣县维管植物的分布区类型(表 2)。结果表明, 无棣县维管植物可以划分为 5 种分布区类型, 2 种变型, 其中, 世界分布 28 科, 占总科数的 59.57%; 泛热带分布 10 科, 占 21.27%; 北温带分布 4 科, 占 8.51%; 北温带和南温带间断分布 2 科, 占 4.26%, 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布、热带亚洲-热带非洲-热带美洲、旧世界热带分布各有 1 科, 分别占 2.13%。47 科维管植物中, 各类热带性分布科(类型 2~5)共有 12 科, 占总科数(除去世界分布)的 63.15%, 而温带性分布科(类型 8 和类型 10)共有 7 科, 占总科数(除去世界分布)的 36.85%。

根据吴征镒<sup>[23]</sup>关于种子植物属的分布区类型划分原则, 无棣县维管植物可以划分为 13 种分布区类型, 5 种变型(表 3)。其中, 世界分布最多, 有 30 属, 占 23.26%, 其次是北温带分布和泛热带分布, 分别为 21 属和 19 属, 占总属的 16.28% 和 14.73%。热带性质共 35 属, 温带性质共 42 属, 说明在属级水平上无棣县维管植物区系的温带性

相对明显, 且与热带成分有紧密联系。此外, 东亚和北美间断分布的属占比达 5.43%。无棣县维管植物区系组成中, 本地特色的成份占比不高。如东亚分布的属和中国特有分布的属占比分别为 3.88% 和 0.78%。

### 2.4 空间分布格局

从物种丰富度来看, 无棣县维管植物的空间分布并不均匀, 物种丰富度相对集中的网格主要分布在南部、西部以及西北部和中部等地区。其次, 物种丰富度热点区域相对聚集, 但各热点之间较为孤立。东北部的植物物种丰富度最低, 其次为中部地区, 东南和南部区域的物种丰富度相对较高(图 2)。

从空间分布数量来看, 南部网格内的物种丰富度最高, 有 102 种维管植物, 位于无棣县南部城区内; 其次为西部的热点网格, 有 91 种维管植物, 位于县西部的碣石山镇。此外, 编号为 0、4、8、11、19 以及 33 等的网格内物种丰富度相对较高, 均在 50 种以上。东北部维管植物的丰富度较低(图 1、图 2)。

去除外来植物后, 再对其物种丰富度的空间分布格局进行可视化分析, 结果表明, 虽然 17 号网格中的物种丰富度仍然最高, 但其本土物种的比例较之前明显下降。3 号网格中的物种丰富度仍然排第 2, 其次是 19、33、4、8 号网格等。此外, 33 号网格的排名明显上升, 该网格内是水库坑塘和河流, 可能外来植物相对较少。

剔除栽培植物, 进一步针对本土野生植物空间分布格局的物种丰富度进行分析(图 3: B)。结果表明, 物种丰富度最高的是无棣县域西部的 3 号网格, 其次才是无棣县南部的 17 号网格, 和

表 2 无棣县维管植物科的分布区类型  
Table 2 Distribution types of vascular plant families in Wudi County

分布类型 Distribution type	科数 Family number	占比 Proportion / %
1. 世界分布	28	59.57
2. 泛热带分布	10	21.27
2-2. 热带亚洲-热带非洲-热带美洲	1	2.13
3. 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断分布	1	2.13
8. 北温带分布	4	8.51
8-4. 北温带和南温带间断分布	2	4.26
10. 旧世界温带分布	1	2.13
合计	47	100

表3 无棣县维管植物属的分布区类型  
Table 3 Distribution types of vascular plant genera in Wudi County

分布类型 Distribution type	属数 Genus number	占比 Proportion / %
1. 世界分布	30	23.26
2. 泛热带分布	19	14.73
2-1. 热带亚洲-大洋洲和热带美洲（南美洲或墨西哥）分布	1	0.78
4. 旧世界热带分布	4	3.10
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布	2	1.55
6. 热带亚洲至热带非洲分布	4	3.10
7. 热带亚洲（印度-马来西亚）分布	5	3.88
8. 北温带分布	21	16.28
8-4. 北温带和南温带间断分布	7	5.43
8-5. 欧亚和南美洲温带间断分布	1	0.78
9. 东亚及北美间断分布	7	5.43
10. 旧世界温带分布	10	7.75
10-3. 欧亚和南非洲（有时也在大洋洲）间断分布	3	2.33
11. 温带亚洲分布	3	2.33
12. 地中海区、西亚至中亚分布	4	3.10
14. 东亚（东喜马拉雅-日本）分布	5	3.88
14-2. 中国-日本（SJ）分布	2	1.55
15. 中国特有	1	0.78
合计	129	100

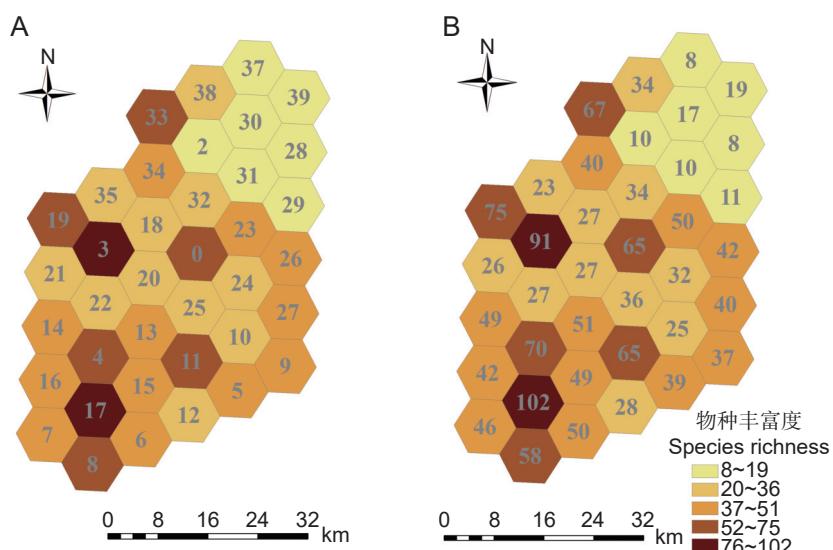


图2 无棣县维管植物物种丰富度的空间分布（A为网格号，B为物种丰富度）  
Fig. 2 Spatial distribution of vascular plant species richness in Wudi County  
(A: No. of grid; B: species richness)

西部的19号网格。其后分别为4号（40种）、33号（37种）、0号（36种）、6号（36种）、14号（34种）网格等。

原来物种丰富度最高的17号网格的排名降为第2，被3号网格反超。其次，19号网格的排名有所上升，而33号网格的物种丰富度排名下降。

## 2.5 外来入侵植物

统计发现，无棣县外来植物共计111种，隶属于35科85属，占无棣县维管植物科、属、种的48%、36%和32%。其中，归化植物77种，属于28科，63属，分别占无棣县维管植物科、属、种的39%、27%和22%。外来入侵植物46种，

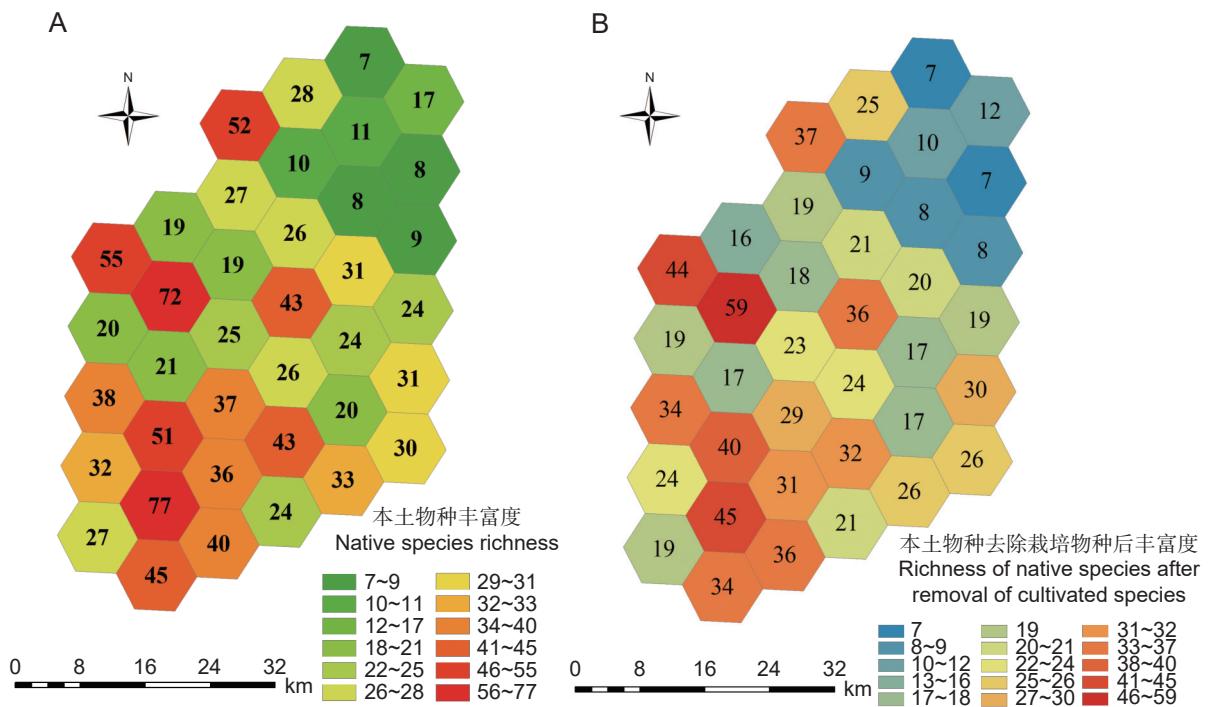


图3 无棣县本土物种(A)和本土野生物种(B)丰富度的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of native species (A) and wild native species (B) richness in Wudi County

隶属于15科32属，分别占无棣县维管植物科、属、种的21%、14%、13%。菊科入侵种最多，包括三叶鬼针草(*Bidens pilosa* L.)、一年蓬(*Erigeron annuus* (L.) Pers.)、小蓬草(*E. canadensis* L.)、黄顶菊(*Flaveria bidentis* (L.) Kuntze)等12种；其次是苋科和禾本科，分别有8种和7种，包括反枝苋(*Amaranthus retroflexus* L.)、凹头苋(*A. blitum* L.)、节节麦(*Aegilops tauschii* Coss.)、大草(*Spartina anglica* C. E. Hubb.)、扁穗雀麦(*Bromus catharticus* Vahl)等；接下来为豆科植物，包括紫苜蓿(*Medicago sativa* L.)、草木樨(*Mellotus officinalis* (L.) Pall.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、白车轴草(*Trifolium repens* L.)、印度草木樨(*Mellotus indicus* (L.) All.)等。

入侵等级为1级的有6种，分别为反枝苋、三叶鬼针草、一年蓬、小蓬草、黄顶菊、圆叶牵牛(*Ipomoea purpurea* (L.) Roth)。入侵等级为2级的有12种，包括绿穗苋(*A. hybridus* L.)、北美独行菜(*Lepidium virginicum* L.)、小花山桃草(*Gaura parviflora* Douglas ex Lehm.)等。入

侵等级为3级的有4种，分别为合被苋(*A. polygonoides* L.)、婆婆针(*Bidens bipinnata* L.)、剑叶金鸡菊(*Coreopsis lanceolata* L.)、苘麻(*Abutilon theophrasti* Medicus)。入侵等级为4级的有18种；入侵等级为5级的有1种；入侵等级有待观察的有5种(附表1<sup>1</sup>)。

使用莫兰指数全局双变量空间自相关和局部双变量空间自相关，分析入侵植物与本地植物丰富度的空间相关性。结果发现，无棣县外来入侵植物与外来植物及归化植物没有空间相关性。外来入侵植物与本地植物物种丰富度的全局空间自相关指数 Moran's *I* 值为 0.201，*Z* 值为 2.50 (*P*<0.05)，说明两者不是随机分布，且入侵物种与本地物种的丰富度具有一定的空间正相关(图4)。局部莫兰指数分析结果表明(图5)，28、29、31、39号网格处于“低-低”聚集状态；6、16、21号网格为“低-高”聚集状态；30号网格处于“高-低”聚集状态；4、7、8、15、17号网格为“高-高”聚集状态，反映出无棣县西南部地区外来入侵物种与本地物种的丰富度均较高，而东北部地区二者的丰富度均较低。

1) 如需查阅附表内容请登录《植物科学学报》网站 (<http://www.plantscience.cn>) 查看本期文章。

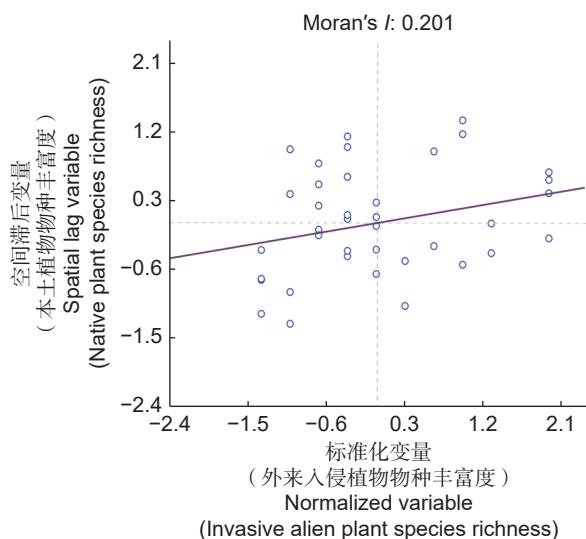


图 4 外来入侵植物与本地植物物种丰富度全局空间自相关指数 Moran's I

Fig. 4 Global spatial autocorrelation index Moran's I of alien invasive plants and native plant species richness

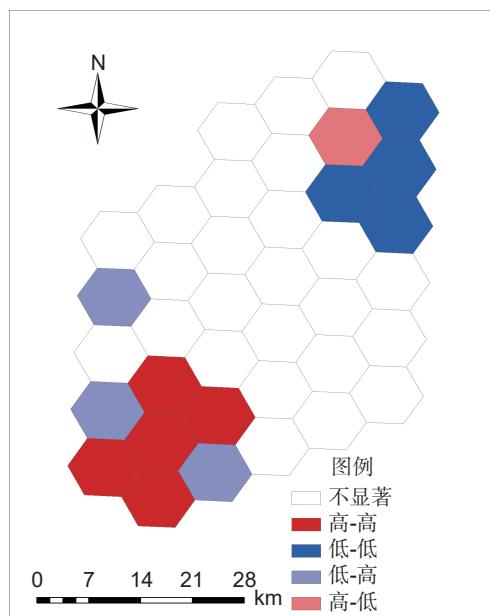


图 5 外来入侵植物与本地植物物种丰富度的双变量 LISA 聚集图

Fig. 5 Bivariate LISA aggregation diagram of species richness of exotic invasive plants and native plants

### 3 讨论

本次调查共发现, 无棣县维管植物有 72 科 235 属 346 种, 物种数最多的前 3 科为菊科、禾本科、豆科; 物种数最多的前 3 属为蒿属、蓼属、苋属。从维管植物的物种量来说, 表现出高度的植物多样性, 但从生活型组成来看, 草本植物占

比较高, 木本植物占比较低, 且木质藤本与草质藤本等森林群落重要指示性物种的占比也相对较低。植物生活型能够反映植物对环境的适应能力, 是适应各种生态位的结果。这表明该地区群落组成相对简单, 生态群落不完善, 生态功能不健全<sup>[24]</sup>。无棣县维管植物的属级分布区类型有 13 种, 各植物区系成分间的联系广泛, 以温带性质为主, 且与热带性质紧密联系。这表明该区的区系地理成分复杂, 具有由热带向暖温带过渡的性质, 与山东省植物区系的分区研究结论一致, 符合当地的区系特征<sup>[25]</sup>。

无棣县外来植物较多, 共计 111 种, 隶属 35 科 85 属, 占维管植物的 32%。其中, 外来入侵植物 46 种, 隶属 15 科 32 属, 占维管植物的 13%。恶性入侵物种 6 种, 严重入侵物种 12 种。菊科入侵种最多, 包括三叶鬼针草、一年蓬、小蓬草、黄顶菊等 12 种, 其次是苋科和禾本科。统计结果显示, 北美洲、南美洲和欧洲的入侵植物最多, 表明美洲植物更容易入侵中国, 这与前人的研究结论一致<sup>[26]</sup>。美洲与亚洲的环境气候和地理条件较为相似, 可能是其容易入侵的原因之一, 这也解释了美洲植物迁入中国后能够迅速适应环境并大量繁殖的现象<sup>[27]</sup>。无棣县外来入侵物种的比例较高, 入侵严重, 一些外来植物在无棣县定殖、建群和扩散, 其中部分外来入侵植物取代本地植物的优势竞争, 从而导致本地植物的多样性降低<sup>[28]</sup>。外来植物入侵还可能会改变当地地貌, 对本地物种造成间接且持久性的影响<sup>[29]</sup>, 并破坏生境, 降低生态系统的生物多样性水平<sup>[30]</sup>, 对当地生物多样性及稳定性构成了较大的威胁。

分析无棣县维管植物物种丰富度的空间分布格局, 结果发现, 植物的空间分布不均匀, 物种丰富度较高的区域集中在南部、西部和中部。这些区域的外来植物和栽培植物也较多, 且多样性热点区域的网格间缺乏联系, 呈孤岛状分布。莫兰指数显示, 外来入侵植物与本地植物的物种丰富度无空间相关性, 但与本地植物的物种丰富度呈空间正相关。在西南部呈“(高-高)聚集状态”, 在东北部呈“(低-低)聚集状态”, 可能是由于西南部为县城所在地, 人类活动密集, 而东北部是虾塘, 人烟稀少, 土地利用方式不同。此外, 无棣县西南部的生境异质性较高, 存在多种生境类群和群落分布, 而东北部生境相对单一,

主要是围海造田形成的盐场。推测生境类群的单一性可能是导致东北部植物多样性较低的原因之一。此外, 无棣县不同地区的温度、湿度及海拔存在差异, 这些环境因素也可能是南部物种丰富度差异较大的原因之一。本地物种丰富度高的区域, 入侵物种也会更为丰富, 相对于本地物种丰富度低的区域, 本地物种丰富度高的区域更容易遭受外来物种的入侵, 这与王国欢等<sup>[31]</sup>的结论一致, 同时冯建孟等<sup>[32]</sup>也得出了相同的结论。在对外来入侵物种与本地物种丰富度的局部莫兰指数进行分析时发现, 高值聚集区往往导致周围低值区域被包围, 如6、16、21号网格呈现“低-高”聚集状态, 反映出区域植物多样性分布的不均衡。这可能是由于高聚集区植物的竞争力强, 抑制了周围区域植物的生长, 导致周围区域植物的物种多样性较低。

为保护无棣县植物多样性, 我们认为应加强以下方面的工作:

(1) 提升保护意识: 重视城市植物多样性的保护工作, 加强植物多样性保护宣传教育, 提升居民的认知水平和保护意识。对护林员进行生物多样性保护知识培训, 明确保护对象和目标, 提高工作人员的专业知识水平和工作能力<sup>[29]</sup>。

(2) 加强就地保护: 在可能的条件下, 规划高价值生物多样性保护区域, 进行荒野管理, 为生物保留原始栖息地。

(3) 优化风险评估: 完善外来植物的风险评估机制, 有效预防外来植物入侵。加强对外来入侵物种的防控, 发现后及时拔除, 减少其对生态环境的危害和扩散风险。

(4) 完善巡护机制: 建立适合当地情况的巡护机制。加强监督, 确保工作的顺利执行。

## 参考文献:

- [1] Tilman D, Reich PB, Knops J, Wedin D, Mielke T, Lehman C. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment[J]. *Science*, 2001, 294 ( 5543 ): 843-845.
- [2] 肖立辉, 朱建杰, 卞金月, 董文青, 王明明, 等. 江苏洪泽湖东部湿地保护区植物多样性及区系特征分析[J]. *湿地科学与管理*, 2023, 19 ( 6 ): 40-44.  
Xiao LH, Zhu JJ, Bian JY, Dong WQ, Wang MM, et al. Plant diversity and flora characteristics of wetland reserve in the eastern Hongze Lake[J]. *Wetland Science & Management*, 2023, 19 ( 6 ): 40-44.
- [3] 王彦梅, 王利华, 韩睿明. 池州市郊县湿地维管束植物多样性与区系分析[J]. *绿色科技*, 2021, 23 ( 6 ): 141-144.
- [4] 刘冰, 覃海宁. 中国高等植物多样性编目进展[J]. *生物多样性*, 2022, 30 ( 7 ): 22397.  
Liu B, Qin HN. Recent advances in the national inventory of higher plant species in China[J]. *Biodiversity Science*, 2022, 30 ( 7 ): 22397.
- [5] 吴天柔, 安明态, 刘锋. 黔南高等植物多样性与分布特征[J]. *中国野生植物资源*, 2023, 42 ( 11 ): 113-120.  
Wu TR, An MT, Liu F. Diversity and distribution of higher plants in Qiannan prefecture of Guizhou Province[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2023, 42 ( 11 ): 113-120.
- [6] 叶鹏程, 赵晓, 陈慧, 刘兴剑, 斯琴, 等. 江苏省灌南县陆生维管植物多样性及区系特征分析[J]. *中国野生植物资源*, 2021, 40 ( 6 ): 78-84.  
Ye PC, Zhao X, Chen H, Liu XJ, Si Q, et al. Analysis of the diversity and floristic characteristics of vascular plants of Guannan county, Jiangsu Province[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2021, 40 ( 6 ): 78-84.
- [7] 窦全慧, 宋扎碰, 陆徐伟, 陈程浩, 任飞, 索南吉. 青海省囊谦县维管植物多样性、区系组成及保护现状[J]. *青海师范大学学报(自然科学版)*, 2023, 39 ( 2 ): 40-45.  
Dou QH, Song ZC, Lu XW, Chen CH, Ren F, Suo NJ. Vascular plant diversity, flora, and conservation status in Nangqian County, Qinghai Province[J]. *Journal of Qinghai Normal University (Natural Science Edition)*, 2023, 39 ( 2 ): 40-45.
- [8] 徐青文, 路淑文, 刘树棣, 王明涛, 付华波. 1971-2010年无棣县降水变化趋势分析[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56 ( 12 ): 2234-2239.  
Xu QW, Lu SW, Liu SD, Wang MT, Fu HB. Analysis of precipitation change tendency in Wudi county during 1971-2010[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56 ( 12 ): 2234-2239.
- [9] 邢小勇, 任英, 许雨晨, 陈江艳, 杨玉洁. 滨州市生态环境状况及趋势分析[J]. *皮革制作与环保科技*, 2023, 4 ( 19 ): 183-184, 187.  
Xing XY, Ren Y, Xu YC, Chen JY, Yang YJ. Analysis of Binzhou city ecological environment status and tendency[J]. *Leather Manufacture and Environmental Technology*, 2023, 4 ( 19 ): 183-184, 187.
- [10] 赵阳. 黄淮海平原(山东)盐碱地植物种质资源调查及土壤含盐量分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2017: 9-12.
- [11] 刘金然, 于晓辉, 张银晓. 贝壳堤岛的调查及保护对策研究——以山东省无棣县为例[J]. *安徽农学通报*, 2017, 23 ( 11 ): 24-26, 39.
- [12] 夏旭蔚, 古力, 严冰晶, 王世镇. 黄河三角洲地区盐碱地造林技术初探——以山东省无棣县为例[J]. *华东森林经理*, 2016, 30 ( 4 ): 48-52, 71.
- [13] 李俊翰, 高明秀. 黄河三角洲滨海土壤盐渍化时空演化特征[J]. *土壤通报*, 2018, 49 ( 6 ): 1458-1465.  
Li JH, Gao MX. Temporal and spatial characteristics of salinization of coastal soils in the Yellow River delta[J]. *Chi-*

- nese Journal of Soil Science, 2018, 49 ( 6 ): 1458–1465.
- [14] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范 [J]. 生物多样性, 2009, 17 ( 6 ): 533–548.
- Fang JY, Wang XP, Shen ZH, Tang ZY, He JS, et al. Methods and protocols for plant community inventory[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17 ( 6 ): 533–548.
- [15] Li JH. Flora of China[J]. *Harv Pap Bot*, 2007, 13 ( 2 ): 301–302.
- [16] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1959–2004.
- [17] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1–401.
- [18] 马金双. 中国外来入侵植物志 (第 1-5 卷) [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2020: 1–299.
- [19] Orme CDL, Davies RG, Burgess M, Eigenbrod F, Pickup N, et al. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat[J]. *Nature*, 2005, 436 ( 7053 ): 1016–1019.
- [20] Pimm SL, Jenkins CN, Abell R, Brooks TM, Gittleman JL, et al. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection[J]. *Science*, 2014, 344 ( 6187 ): 1246752.
- [21] 马道承, 王艺锦, 王凌晖. 南宁市人民公园荫生植物园植物及其景观调查与分析 [J]. 广西林业科学, 2022, 51 ( 6 ): 775–782.
- Ma DC, Wang YJ, Wang LH. Investigation and analysis on plants and landscapes in shade-tolerate arboretum of Nanning people's park[J]. *Guangxi Forestry Science*, 2022, 51 ( 6 ): 775–782.
- [22] 吴征镒, 周渐昆, 李德铢, 彭华, 孙航. 世界种子植物科的分布区类型系统 [J]. 云南植物研究, 2003, 25 ( 3 ): 245–257.
- Wu ZY, Zhou ZK, Li DZ, Peng H, Sun H. The areal-types of the world families of seed plants[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003, 25 ( 3 ): 245–257.
- [23] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型 [J]. 云南植物研究, 1991, 31 ( S4 ): 1–3.
- Wu ZY. The areal-types of Chinese genera of seed plants[J]. *Plant Diversity*, 1991, 31 ( S4 ): 1–3.
- [24] 罗凤敏, 辛智鸣, 高君亮, 李永华, 董雪, 等. 敦煌及马鬃山地区植物生活型及其海拔梯度特征 [J]. 林业科学, 2022, 58 ( 3 ): 31–39.
- Luo FM, Xin ZM, Gao JL, Li YH, Dong X, et al. Characteristics of plant life-form spectrum and elevation gradients in the areas of Dunhuang and Mazongshan[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2022, 58 ( 3 ): 31–39.
- [25] 张伟, 赵善伦. 山东植物区系分区研究 [J]. 广西植物, 2002, 22 ( 1 ): 29–34, 66.
- Zhang W, Zhao SL. A study of floristic division of Shandong Province[J]. *Guizhou Botany*, 2002, 22 ( 1 ): 29–34, 66.
- [26] 殷根深, 张双双, 程文磊, 席辉辉, 董洪进. 云南省外来入侵植物的区系成分及多样性分析 [J]. 生物安全学报, 2023, 32 ( 1 ): 16–24.
- Yin GS, Zhang SS, Cheng WL, Xi HH, Dong HJ. Analysis on the floristics and diversity of invasive alien plants in Yunnan Province[J]. *Journal of Biosafety*, 2023, 32 ( 1 ): 16–24.
- [27] Guo QF. Ecological comparisons between eastern asia and north america: historical and geographical perspectives[J]. *J Biogeogr*, 1999, 26 ( 2 ): 199–206.
- [28] Ren JL, Chen JS, Xu CL, van de Koppel J, Thomsen MS, et al. An invasive species erodes the performance of coastal wetland protected areas[J]. *Sci Adv*, 2021, 7 ( 42 ): eabi8943.
- [29] Fei SL, Phillips J, Shouse M. Biogeomorphic impacts of invasive species[J]. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 2014, 45 ( 1 ): 69–87.
- [30] 庞立东, 刘国栋, 阿马努拉·依明尼亚孜, 卢苓苓, 张艳楠. 内蒙古外来入侵生物现状及防控对策 [J]. 中国森林病虫, 2022, 41 ( 2 ): 38–43.
- Pang LD, Liu GD, Amanulla E, Lu LL, Zhang YN. Status and countermeasures of exotic invasive species in Inner Mongolia[J]. *Forest Pest and Disease*, 2022, 41 ( 2 ): 38–43.
- [31] 王国欢, 白帆, 桑卫国. 中国外来入侵生物的空间分布格局及其影响因素 [J]. 植物科学学报, 2017, 35 ( 4 ): 513–524.
- Wang GH, Bai F, Sang WG. Spatial distribution of invasive alien animal and plant species and its influencing factors in China[J]. *Plant Science Journal*, 2017, 35 ( 4 ): 513–524.
- [32] 冯建孟, 董晓东, 徐成东. 中国外来入侵植物物种多样性的空间分布格局及与本土植物之间的关系 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2010, 32 ( 6 ): 50–57.
- Feng JM, Dong XD, Xu CD. Spatial patterns of species diversity of alien invasive plants in China and their relationship with native plants[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science)*, 2010, 32 ( 6 ): 50–57.

(责任编辑: 李惠英)