

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2023.03.009

滇池湖滨区外来植物的分布格局及其 与人类活动和乡土植物的关系

张红丽¹, 郑成洁¹, 潘曲波¹, 王艳^{2*}

¹西南林业大学园林园艺学院, 云南 昆明 650224; ²西南林业大学艺术与设计学院, 云南 昆明 650224

摘要:【目的】明确滇池湖滨区外来植物的分布格局及其主要人类活动影响因素,为管理外来植物提供数据支撑,更好地保护滇池生态系统。【方法】采用样方法和线路调查相结合的方式得到外来植物的分布信息,通过聚类分析和逐步回归分析等探究外来植物丰富度、密度与人类活动影响因素和乡土植物之间的关系。【结果】(1)滇池湖滨区外来植物的丰富度和密度分布格局基本一致;东、北两岸的外来植物丰富度相对较高,西、南两岸相对较低。各湖滨湿地公园外来植物的种类差异性较大,特别是晋宁南滇池国家湿地公园、古滇精品湿地公园、海东湿地公园与其他湖滨湿地公园的外来植物组成差别最大。(2)湖滨湿地公园的面积是影响外来植物丰富度和密度的主要因子。(3)外来植物丰富度与乡土植物丰富度呈正相关性。(4)典范对应分析结果表明,3个排序轴解释外来植物在滇池湖滨区物种组成变异的59.87%,湖滨湿地公园的主要道路长度、交通密度、面积是决定外来植物空间分布格局的主要变量。【结论】人类活动影响滇池湖滨区外来植物的空间分布,在乡土植物丰富度高的地区,外来植物的丰富度也较高,对外来植物进行管控的同时,也要防范由于人类活动造成外来植物增加的风险。



开放科学标识码
(OSID 码)

关键词: 滇池; 湖滨区域; 外来植物; 分布格局; 影响因素

Distribution patterns of exotic plants in the lakeside area of Dianchi Lake and its relationship with human activities and native plants

ZHANG Hongli¹, ZHENG Chengjie¹, PAN Qubo¹, WANG Yan^{2*}

¹College of Landscape Architecture and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China;

²College of Art and Design, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China

Abstract: 【Aim】 The purpose of this study is to clarify the distribution pattern of exotic plants in the lakeside area of Dianchi and its main human activity influencing factors, to provide data support for the management of exotic plants in the region, to prevent them from becoming invasive species, and to better protect the Dianchi ecosystem. 【Method】 A combination of sample method and line survey was used to obtain information on the distribution of exotic plants. The relationships between the abundance and density of exotic plants and the factors influenced by human activities and native plants were explored by cluster analysis and stepwise regression analysis. 【Result】 (1) The distribution patterns of the richness and density of exotic plants in the lakeside area of Dianchi were basically the same; the richness of exotic plants was relatively high on the east and north shores, and relatively low on the west and south shores. The variability of exotic plants in each lakeside wetland park was large, especially the largest differences in the composition of exotic plants between Jinning South Dianchi National Wetland Park, Gudian Fine Wetland Park, Haidong Wetland Park and other lakeside wetland parks. (2) The size of the lakeside wetland park was the main factor influencing the abundance and density of exotic plants. (3) The abundance of exotic plants was positively correlated with the abundance of native plans. (4) The results of the canonical correspondence analysis showed that the three ordination axes explained 59.87% of the variation in species composition of exotic plants in the lakeside area of Dianchi. Length of major roads, traffic density and area of lakeside wetland parks were the main variables determining the spatial distribution pattern of exotic plants. 【Conclusion】 Human activities affected the spatial distribution of exotic plants in the lakeside area of Dianchi. In areas with a high abundance of native plants, the abundance of exotic plants was also high. While controlling exotic plants, it is also necessary to guard a-

收稿日期 (Received): 2022-08-03 接受日期 (Accepted): 2022-10-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31760234)

作者简介: 张红丽, 女, 硕士研究生。研究方向: 风景园林规划与设计。E-mail: 1506186692@qq.com

* 通信作者 (Author for correspondence), 王艳, E-mail: 710764858@qq.com

gainst the risk of increasing exotic plants due to human activities.

Key words: Dianchi Lake; lakeside area; exotic plants; distribution pattern; influencing factors

外来物种是指那些出现在其过去、现在的自然分布范围及扩散潜力以外(即在其自然分布范围以外,没有直接、间接引入或人类照顾之下而不能存在)的物种、亚种或以下的分类单元(冯建孟和徐成东,2009)。近年来,由于人类频繁的旅游与贸易活动,打破了生物的地理屏障,使得外来物种更容易从原产地被带到其他区域,在全球范围内迅速扩散(陈凤新等,2021; Blackburn *et al.*, 2016)。一些外来物种在新的环境中因没有天敌、适应性广、繁殖能力强等因素而大量繁殖、扩散、逸生,对当地生态系统和经济造成巨大损失,成为入侵物种(冯建孟和徐成东,2009)。研究外来物种的入侵机制和风险管控,能够深入了解外来物种成功入侵的机制,有效预测、预防和管理入侵物种,而分析外来物种的分布格局并研究其主要影响因素是控制和管理外来物种入侵问题的基础(王国欢等,2017; Pan *et al.*, 2015)。

人类活动是除外来物种自身生物学特性和自然环境之外影响外来物种分布的重要因素之一,其为外来物种的入侵提供机会,是外来物种入侵的重要媒介(魏雷等,2022),且人类活动对外来物种分布的影响在不同空间尺度上不尽相同,Wang *et al.* (2011)和孙远等(2020)分别从大、小尺度区域的研究中发现人类活动对动、植物物种丰富度格局的影响不大,而王国欢(2017)等和王双玲等(2010)则认为在一定尺度上人类活动对其分布格局影响较大。国内外关于大尺度区域人类活动影响外来物种分布的研究较为丰富(王国欢等,2017; 王双玲等,2010; Morozova & Tishkov, 2021; Schartau *et al.*, 2021),但有关小尺度区域的研究还较少(Ad-do, 2021; Dodonov *et al.*, 2019)。中国地跨多个气候带,各地区气候复杂多样,地理环境差异较大,以大尺度区域为研究对象只能对外来物种空间分布格局及其人类活动影响因素进行总体的把握和论述,不能全面反映小尺度区域外来物种分布特点及其主要人类活动影响因素。此外,关于外来物种与乡土物种之间空间分布关系的争议也较大(Dimitrakopoulos *et al.*, 2017),Palmer (2006)和冯建孟等(2010)认为外来物种与乡土物种存在正相关性,而

Gurvich *et al.* (2005)认为外来物种与乡土物种之间存在负相关性,王国欢等(2017)认为不同区域外来物种与本土物种多样性的相关关系表现不同。因此,有必要针对一些生态敏感的小尺度区域对外来物种的分布格局及人类活动和乡土物种对其的影响进行深入的研究。

滇池生态结构复杂,功能特殊,历来是一个资源环境热点区域和生态敏感区域(张红丽等, 2022)。20 世纪七八十年代开展的围湖造田运动,使其原有浅滩湿地消失,滇池湖滨区受人类活动影响较为严重(杨超和孟石荣,2019)。为恢复区域生物多样性,湖滨湿地公园的建设,在滇池湖滨区人为引种植物以及建设人工湿地,可能会出现乡土植物多样性下降、外来植物发展迅速等问题(项希希, 2014)。此外,随着时间的推移,一些湖滨湿地公园处于半自然状态,加上人类活动的干扰导致一些外来植物大量繁殖、扩散。鉴于此,本文通过分析滇池湖滨区外来植物的分布格局及人类活动和乡土植物对其的影响,以期能更清晰地认识滇池小尺度区域外来植物分布格局,为管理外来植物提供数据支撑,更好地保护滇池区域的生态系统。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

滇池(24°40'~25°02'E, 102°36'~102°47'N)属长江流域金沙江水系,地处云南中部,是云南省湖面面积最大的湖泊(杨超和孟石荣,2019)。滇池流域面积 2920 km²,气候为典型的低纬度高原山地季风气候,多年平均温度 14.6~15.9 °C,全年温差约 12 °C,多年降水均值 994.7 mm,降水相对较少,气候温和,日照充足,季节性温差不大,主要植被类型是亚热带湿润、半湿润常绿阔叶林(冯泽波,2018; 贺克雕等,2019)。滇池湖滨区是指处于水陆之间的过渡带,对滇池有保护作用且是生物多样性最丰富的区域,具体范围是从正常高水位 1887.4 m 水位线向陆地延伸 100 m 至湖内 1885.5 m 之间的地带(廖辰灿等,2021)。本研究大部分调查地点都位于滇池周边环湖路附近的湖滨区,根据滇池湖滨区的现状且参考项希希等(2014)的滇池外来植物调查资料,选取位于滇池湖滨区 4 个岸的 16 个湖滨湿

地公园进行调查研究。

1.2 数据来源与方法

通过采用样方法和线路调查相结合实地调研,查阅《云南种子植物名录》(中国科学院昆明植物所,1984)、《云南植物志》(中国科学院昆明植物所,1976)、《滇池园林湿地园林植物图鉴》(潘曲波和陶仕珍,2019)、《中国云南乡土园林植物》(欧晓昆等,2015)以及中国植物志(<http://frps.iplant.cn/>)、中国自然标本馆(<http://www.cfh.ac.cn/>)等数据库完善植物信息。人类活动影响因子主要参考王国欢等(2017)、吴晓雯等(2006)并结合滇池湖滨区实际情况进行选择,湖滨湿地公园旅游人数数据主要参考付健梅等(2021),利用 ArcGIS 10.7 测量湖滨湿地公园内主要道路长度,各湖滨湿地公园所在行政区人口数量和经济指标、面积等数据主要从云南统计年鉴(http://www.yn.gov.cn/zwgk/zfxxgkpt/fdzdgnr/tjxx/ntjnj/202012/t20201228_214800.html)(选取 2020 年度数据)和昆明滇池国家旅游度假区管委会官方网站(<http://dianchi.km.gov.cn/zjdjq/>)获取,人类活动影响因素主要包括常住人口总数(total number of permanent residents, TNPR)、人口密度(population density, PLD)、人均 GDP(GDP percapita, GDPp)、面积(area of park, PAR)、主要道路长度(main road length, MRL)、旅游人数(number of foreign tourists, NFT)和交通密度(traffic density, TPD)。

整理和归类外来植物名录及空间分布信息,建立滇池湖滨区外来植物空间分布数据库(16×405 的 0/1 矩阵,行表示所在湖滨湿地公园,列表示外来植物在该湖滨湿地公园是否存在,0 表示存在,1 表示不存在),根据湖滨湿地公园位于滇池沿岸方位的不同,划分为 4 个岸,探讨外来植物的分布格局。根据以上信息计算外来植物的丰富度和密度(外来植物丰富度=湖滨湿地公园分布的外来植物种数;外来植物密度=外来植物丰富度/湖滨湿地公园面积)。

本研究有关人类活动对外来植物空间分布格局影响的分析主要参考冯建孟等(2009)、王国欢等(2017)、吴晓雯等(2006)、王双玲等(2010)的方法,应用 Origin 2022 软件进行聚类和相关分析,确定各湖滨湿地公园植物外来的相似度和分析人类活动影响因素与外来植物丰富度、密度之间的相关

性;应用 SPSS 19 软件进行逐步回归分析和二元相关分析,确定影响外来植物丰富度、密度的主要影响因子和分析外来植物与乡土植物之间的关系;应用 Canoco for Windows 4.5 软件进行典范对应分析,确定外来植物在滇池湖滨区的分布格局与人类活动影响因素的关系;空间分布格局的绘制主要通过 Adobe Photoshop 7.0 实现。

2 结果与分析

2.1 外来植物的空间分布格局

通过实地调查、资料整理可知,滇池湖滨区湿地公园共计 405 种外来植物。外来植物的丰富度在滇池湖滨区存在很大的差异:从方位来看,外来植物主要集中在东、北两岸,西、南两岸相对较少;从各湖滨湿地公园来看,海埂公园、下海埂湿地公园、古城河湿地公园和晖湾湿地公园,这 4 个湖滨湿地公园的外来植物丰富度相对最低;西亮塘湿地公园、王官湿地公园、斗南湿地公园、永昌湿地公园、古滇精品湿地公园、渔浦寨寒泉生态湿地公园、捞鱼河湿地公园、梁王河湿地公园、西华湿地公园,这 9 个湖滨湿地公园外来植物丰富度相对较高,晋宁南滇池国家湿地公园、大渔公园、海东湿地公园,这 3 个湖滨湿地公园外来植物的丰富度相对最高。滇池湖滨区外来植物丰富度总体呈现东北多、西南少。就方位而言,外来植物密度与丰富度的空间分布格局基本一致;从各湖滨湿地公园来看,晋宁南滇池国家湿地公园、海东湿地公园、永昌湿地公园、下海埂湿地公园、梁王河湿地公园的外来植物密度与丰富度的空间分布存在差异(图 1)。

根据外来植物在各湖滨湿地公园的有、无矩阵进行聚类分析(图 2),图中虚线将 16 个湖滨湿地公园重新划分为四大类型:第 1 类包括晋宁南滇池国家湿地公园;第 2 类包括西亮塘湿地公园、王官湿地公园、永昌湿地公园、海埂湿地公园、下海埂湿地公园、古城河河口湿地公园、梁王河湿地公园、西华湿地公园、捞鱼河湿地公园、斗南湿地公园、渔浦寨寒泉生态湿地公园、大渔公园;第 3 类包括古滇精品湿地公园;第 4 类包括海东湿地公园。由图 2 可知,各湖滨湿地公园外来植物的分布具有一定差异性,特别是晋宁南滇池国家湿地公园、古滇精品湿地公园、海东湿地公园这 3 个湖滨湿地公园与其他湖滨湿地公园的物种组成差异最大。

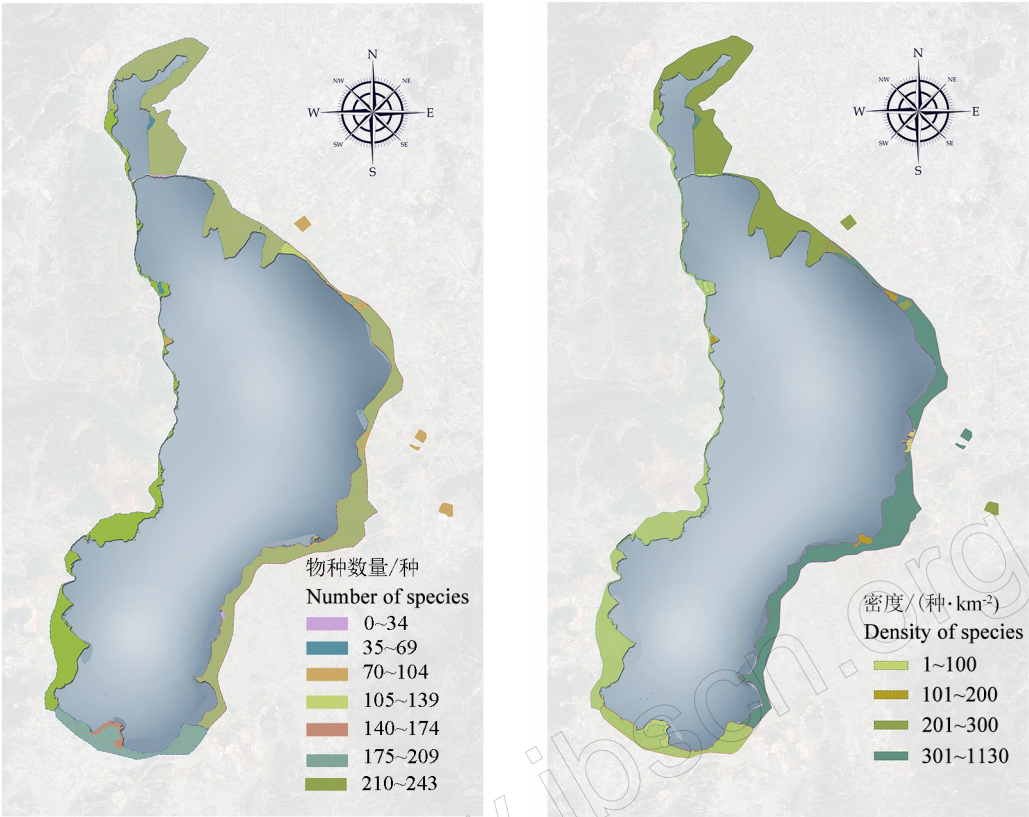


图 1 滇池湖滨区外来植物的分布格局

Fig.1 Distribution pattern of exotic plants in the lakeside area of Dianchi



图 2 基于外来植物分布模式的 16 个湖滨湿地公园的树状图

Fig.2 Dendrograms of 16 lakeside wetland parks based on distribution patterns of exotic plants

2.2 外来植物丰富度和密度与人类活动的关系

由图 3 可知,许多变量之间存在明显的相关性,各变量之间的相关性显著程度不尽相同。外来植物丰富度与公园面积、公园内主要道路长度呈正相关性,其随着公园面积和公园内主要道路长度的增加而增加。外来植物物种所占比例与各公园游

客人数呈显著的正相关;外来植物物种密度与公园面积呈显著的负相关,与公园内交通密度呈显著的正相关,这在一定程度上反映出外来植物密度随着交通密度增加而增加,随着公园面积增大而减少。

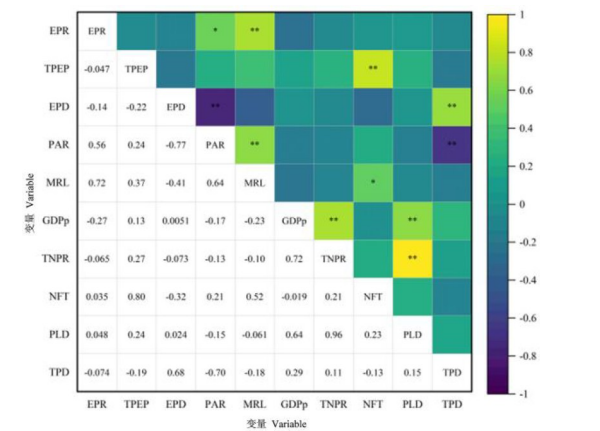


图 3 滇池湖滨区外来植物丰富度和密度与人类活动因素的关系

Fig.3 Relationship between exotic plants richness and density and human activity factors in the lakeside area of Dianchi
EPR: 外来植物丰富度; TPEP: 外来植物所占比例; EPD: 外来植物密度; PAR: 面积; MRL: 主要道路长度; GDPp: 人均 GDP; TNPR: 常住人口总数; NFT: 旅游人数; PLD: 人口密度; TPD: 交通密度;
*: $P \leq 0.05$; **: $P \leq 0.01$ 。

EPR: Exotic plants richness; TPEP: The percentage of exotic plants; EPD: Exotic plants density; PAR: Area of park; MRL: Main road length; GDPp: GDP percapita; TNPR: Total number of permanent residents; NFT: Number of foreign tourists; PLD: Population density; TPD: Traffic density; *: $P \leq 0.05$; **: $P \leq 0.01$.

2.3 滇池湖滨区外来植物分布格局的影响因素
2.3.1 影响外来植物分布的关键因子的选择 主成分载荷矩阵(表 1)表明, F_1 与所在区常住人口总数相关系数最大, 是反映常住人口总数的关键因子; F_2 与湖滨湿地公园面积的相关系数最大, 是反映湖滨湿地公园面积的关键因子; F_3 与湖滨湿地公

园旅游人数的相关系数最大, 是反映各湖滨湿地公园旅游人数的关键因子; F_4 与湖滨湿地公园内交通密度的相关系数最大, 是反映湖滨湿地公园内交通密度的关键因子。

通过主成分的载荷矩阵和标准化后的变量计算主成分得分, 将外来植物数量和主成分进行向前逐步回归, 筛选出 2 个变量进入多元回归方程, 分别是 F_4 、 F_2 , 即反映各湖滨湿地公园内交通密度、面积的变量, 其中各湖滨湿地公园内交通密度和面积有相关性, 湖滨湿地公园面积是决定外来植物物种数的主要因子; 第二次多元线性回归的因变量是外来植物密度, 经向前逐步回归筛选后只有各湖滨湿地公园面积进入回归方程, 其解释了外来植物密度全部变异的 40.6%, 湖滨湿地公园面积也是影响外来植物密度的主要因子(表 2、3)。

表 1 4 个主成分的载荷矩阵表
Table 1 Table of the loading matrix of the 4 principal components

影响因子 Influence factor	F_1	F_2	F_3	F_4
面积 PAR	-0.560	0.704	-0.315	0.222
主要道路长度 MRL	-0.497	0.647	0.411	0.350
人均 GDP GDPp	0.807	0.274	-0.016	0.196
常住人口总数 TNPR	0.824	0.525	0.007	-0.143
旅游人数 NFT	-0.364	0.305	0.758	-0.399
人口密度 PLD	0.809	0.505	0.024	-0.099
交通密度 TPD	0.489	-0.481	0.595	0.395

表 2 外来植物丰富度和人类活动因子的逐步回归结果
Table 2 Stepwise regression results of exotic plants abundance and human activity factors

项目 Item	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	标准化系数 Standardization factor	t 检验值 t	F 值 F	显著性水平 Sig.	决定系数 Decision factor
常量 Constants	79.375	6.457		12.292		0	
F_4	23.762	8.947	0.532	2.656	5.516	0.020	0.231
F_2	10.872	4.910	0.443	2.214	5.978	0.045	0.399

因变量: 外来植物的丰富度。
Dependent variable: Abundance of exotic plants.

表 3 外来植物密度和人类活动因子的逐步回归结果
Table 3 Stepwise regression results of exotic plants density and human activity factors

项目 Item	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	标准化系数 Standardization factor	t 检验值 t	F 值 F	显著性水平 Sig.	决定系数 Decision factor
常量 Constants	257.719	55.164		4.672		0	
F_2	-140.588	41.948	-0.667	-3.351	11.232	0.005	0.406

因变量: 外来植物密度。
Dependent variable: Density of exotic plants.

2.3.2 滇池湖滨区外来植物分布格局与人类活动的关系 典范对应分析结果(表 4)显示, 3 个排序轴能

解释外来植物在滇池湖滨区物种组成变异的 59.87%, 典范对应分析中轴一的作用效果显著(特征

值为0.0327, $p<0.05$),典范对应分析轴二的作用也显著(特征值为0.0243, $p<0.05$)。与轴一最相关的2个变量为湖滨湿地公园内主要道路长度、旅游人数;与轴二最相关的3个变量为湖滨湿地公园内交通密度、面积和所在行政区人口密度。由图4可知:决定外来植物空间分布格局的主要变量是湖滨湿地公园内道路长度、交通密度、面积、人口密度。

表 4 滇池湖滨区外来植物分布 CCA 分析
Table 4 CCA analysis of the distribution
of exotic plants in the lakeside area of Dianchi

人类活动因子 Human activity factor	第一物种轴 Axis1	第二物种轴 Axis2	第三物种轴 Axis3	第四物种轴 Axis4
物种百分比变化率 PV/%	26.12	19.43	14.32	12.09
面积 PAR	0.3539	0.6254	0.2972	-0.2727
主要道路长度 MRL	0.7319	0.0643	0.4072	-0.1787
人均 GDP GDPp	-0.1262	-0.3433	-0.0987	0.5363
常住人口总数 TNPR	0.3217	-0.4880	-0.3193	0.2309
旅游人数 NFT	0.3640	-0.3224	-0.2374	-0.5339
人口密度 PLD	0.3143	-0.616	-0.1346	0.1054
交通密度 TPD	-0.1254	-0.6326	0.1017	0.6043

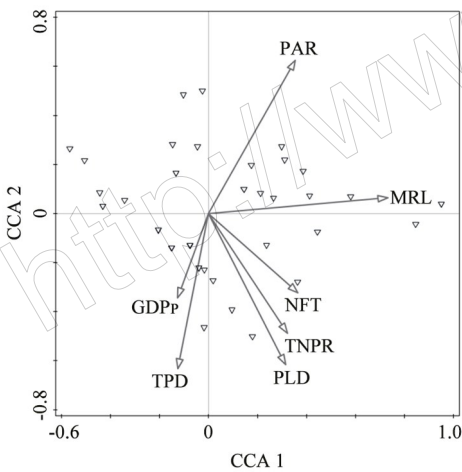


图 4 滇池湖滨区外来植物与人类活动因子的典范对应分析

Fig.4 A paradigmatic correspondence analysis between exotic plants and human activity factors in the lakeside area of Dianchi

2.4 滇池湖滨区外来植物与乡土植物丰富度的关系

统计滇池湖滨区各湿地公园植物丰富度,并采用二元相关分析进行相关研究,结果表明,外来植物与乡土植物的丰富度总体呈显著正相关(图5、表5),东、南两岸外来植物与乡土植物丰富度呈显著正相关,其他两岸的外来植物与乡土植物的丰富度虽相关系数较高,但统计学意义并不显著($P>0.05$)。总体来看,外来植物的丰富度随着乡土植

物丰富度的增加而增加,这在一定程度上说明乡土植物丰富度高的地区,外来植物的数量并未减少。

3 讨论与结论

研究表明,外来植物在滇池湖滨区空间分布存在差异,外来植物主要集中在东、北两岸,西、南两岸较少,生态风险评价表明,北岸、东岸较南岸、西岸外来植物风险高(王南媛,2022;张红丽,2022;郑成洁,2022),主要原因可能是东、北两岸人口密度大,经济比较发达,外来植物的应用较为丰富;西岸地形以山地为主,人口密度较低,发展较慢,南岸有国家湿地公园,外来植物应用控制较为严格。晋宁南滇池国家湿地公园、古滇精品湿地公园、海东湿地公园与其他湖滨湿地公园的物种组成差异较大,其原因可能是晋宁南滇池国家湿地公园属国家级湿地公园,《国家湿地公园管理办法》第十九条明确指出:“除国家另有规定外,国家湿地公园内禁止引入外来物种”(国家林业和草原局,2017),园内的植物外来种的管理较为严格;古滇精品湿地公园为游乐型湿地公园,其引种的观赏类外来植物较为多样,海东湿地公园集合多种生态保护功能,其引种净化类的外来植物较多,公园类型不同导致外来植物的引种也有差异。因此,建议将滇池湖滨区高风险外来植物替换为具有同样效果的乡土植物,在引种外来植物时,需根据公园的类型和外来植物的生物学特性等评价外来植物的风险等级,选择合适的外来植物引种栽培。

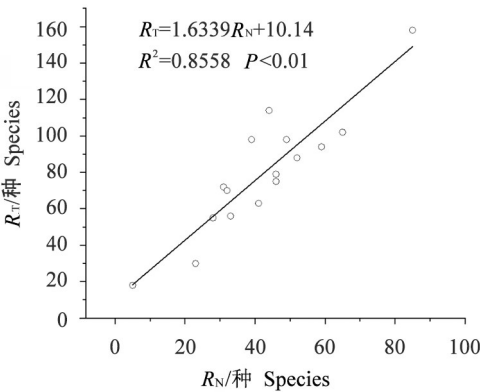


图 5 滇池湖滨区外来植物与乡土植物丰富度之间的关系

Fig.5 Relationship between the abundance of exotic and native plants in the lakeside area of Dianchi
 R_T : 外来植物丰富度; R_N : 乡土植物丰富度。
 R_T : Exotic plants richness; R_N : Native plants richness.

表5 滇池湖滨区外来植物与乡土植物丰富度线性回归方程 ($R_T=aR_N+b$)

Table 5 Linear regression equations for the abundance of exotic and native plants in the lakeside area of Dianchi ($R_T=aR_N+b$)

区域 Area	df	R^2	F	P	系数 a Coefficient a	系数 b Coefficient b
总的区域 Total area	1	0.81570	61.983	0	1.63388	10.1400
南岸 South bank	1	1.00000	2298.097	0.013	1.85120	2.54710
北岸 North bank	1	0.72423	10.505	0.320	1.60196	13.86184
东岸 East bank	1	0.66445	7.921	0.048	1.41285	19.12813
西岸 West bank	1	0.94889	18.568	0.145	0.80315	-14.12900

外来植物丰富度与湖滨湿地公园面积、主要道路长度呈正相关,外来植物密度与湖滨湿地公园面积呈现显著的负相关,与交通密度呈显著的正相关,其原因可能是较大的面积和道路建设均可提供更多的生境,有利于外来植物的生存(国怀亮,2015;吴晓雯等,2006);相关研究还发现,沥青路面比土质路面的道路具有更高的物种丰富度,道路附近的物种丰富度和多样性随着道路边界距离的增加而降低(曾胜兰,2011)。因此,在建设新的湖滨湿地公园时需要合理规划公园面积,在修建内部道路时,需考虑道路的路面材质和边界的距离可能造成

的外来植物扩散和入侵情况(Foeman,2000)。

本研究中外来植物空间分布格局受湖滨湿地公园内道路长度、交通密度、面积、人口密度的影响较大,吴晓雯等(2006)认为,在较小尺度上人口密度、交通密度等对外来植物分布格局有影响,本文验证了这一观点,道路建设及维护过程中会破坏原有的生境,造成生态位缺失,大量车辆和人流可能携带外来植物个体或种子进入当地的生态系统,为外来植物的扩散或入侵提供便利(冯建孟和徐成东,2009;国怀亮,2015)。本研究中外来植物与乡土植物的丰富度呈显著的正相关,这与冯建孟等(2010)的研究结果相似,可能是外来植物的空间分布格局和乡土植物一样受到相似环境因子的相似影响;但该结果与许玥等(2016)的研究结果不同,其原因可能为研究角度不同,本研究主要从植物数量方面分析,而后者主要从群落角度对外来植物和乡土植物之间关系进行分析。项希希(2014)发现,滇池区域消失的优势种多为乡土植物,新增的群落类型中外来植物较多,如粉绿狐尾藻 *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc.、风车草 *Cyperus involucrat*us Rottboll、梭鱼草 *Pontederia cordata* L.等,本研究中发现,滇池湖滨区外来植物也有增加的趋势且观赏草本植物种类较多,如柳叶马鞭草 *Verbena bonariensis* L.、秋英 *Cosmos bipinnatus* Cavanilles 等,其原

因可能是前期治理滇池的过程中多选择水质净化效果较好的外来植物,后期由于人类旅游等活动影响加上草本植物生长周期短、种子多且繁殖力强,能在短时间内形成丰富的景观效果,从而导致外来草本植物增多(张红丽等,2022)。

外来植物的增加会改变植物群落的组成和生态功能,可能对滇池湖滨区生态环境的治理和生态系统的循环造成不利影响。建议把生态保护放在首位,少引种具有潜在入侵的观赏类外来草本植物,多栽植净化水平较高的乡土植物,逐步替换有入侵风险的外来植物。由于受新冠疫情影响,调查期间湖滨湿地公园内游客人数减少,研究中考考虑到此问题,对游客人数的估计值进行相应的调整,但仍与实际值存在一定的偏差,可能会影响旅游人数对外来植物的空间分布的研究结果。

参考文献

陈凤新,刘丛楠,张凤娟,2021. 影响河北省外来物种入侵的社会经济因素分析. 生物安全学报, 30(3): 166-171.

冯建孟,董晓东,徐成东,2010. 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. 西南大学学报(自然科学版), 32(6): 50-57.

冯建孟,徐成东,2009. 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), 31(8): 78-83.

付健梅,周晶,龚相瀚,李虹瑾,王金博,李俊梅,2021. 滇池湖滨湿地公园的旅客人数估算. 湿地科学, 19(4): 501-506.

冯泽波,2018. 滇池主要入湖河流 pH 值特征及其变化机制研究. 硕士学位论文. 昆明: 云南师范大学.

国怀亮,2015. 入侵植物肿柄菊(*Tithonia diversifolia*) 在昆磨高速路域系统中的分布格局研究. 硕士学位论文. 昆明: 云南大学.

国家林业和草原局,2017. 国家林业局关于印发《国家湿地公园管理办法》的通知. (2017-12-27) [2022-03-01]. <http://www.forestry.gov.cn/main/5925/20200414/090421117941948.html>.

贺克雕,高伟,段昌群,朱远高,潘瑛,刘嫦娥,张唯,杨

- 桂英, 2019. 滇池、抚仙湖、阳宗海长期水位变化(1988—2015 年)及驱动因子. 湖泊科学, 31(5): 1379–1390.
- 廖辰灿, 毛茜, 史惠灵, 白皓天, 李俊梅, 2021. 滇池湖滨区湿地鸟类栖息地适宜性评价研究. 西南林业大学学报(自然科学), 41(1): 78–84.
- 欧晓昆, 宋鼎, 刘敏, 2015. 中国云南乡土园林植物. 昆明: 云南科技出版社.
- 潘曲波, 陶仕珍, 2019. 滇池园林湿地园林植物图鉴. 昆明: 云南科技出版社.
- 孙远, 胡维刚, 姚树冉, 孙颖, 邓建明, 2020. 黄河流域被子植物和陆栖脊椎动物丰富度格局及其影响因子. 生物多样性, 28(12): 1523–1532.
- 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.
- 王南媛, 潘曲波, 郑成洁, 王江, 2022. 南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险评价. 生物安全学报, 31(1): 46–55.
- 王双玲, 李中强, 汪正祥, 张萌, 徐军, 刘仁宏, 2010. 中国外来入侵动物的分布格局及其与环境因子和人类活动的关系. 长江流域资源与环境, 19(11): 1283–1289.
- 吴晓雯, 罗晶, 陈家宽, 李博, 2006. 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, 30(4): 576–584.
- 魏雷, 陈鸿生, 陈朋, 王永生, 杨蕾蕾, 2022. 江门市砂质海岸外来入侵植物分析. 生物安全学报, 31(2): 135–140.
- 项希希, 2014. 滇池湖滨区域湿地高等植物及其群落变化研究. 硕士学位论文. 昆明: 云南大学.
- 许玥, 李鹏, 刘晔, 张婉君, 秦思雨, 沈泽昊, 2016. 怒江河谷入侵植物与乡土植物丰富度的分布格局与影响因子. 生物多样性, 24(4): 389–398.
- 杨超, 孟石荣, 2019. 滇池流域湿地的历史变迁与恢复重建. 湿地科学与管理, 15(1): 35–38.
- 郑成洁, 潘曲波, 王南媛, 王江, 2022. 滇池北岸园林湿地植物外来种生态风险评价研究. 西南大学学报(自然科学版), 44(3): 83–92.
- 中国科学院昆明植物所, 1984. 云南种子植物名录. 北京: 科学出版社.
- 中国科学院昆明植物所, 1976. 云南植物志. 北京: 科学出版社.
- 张红丽, 潘曲波, 彭麟迪, 郑成洁, 王南媛, 2022. 滇池东岸湿地公园园林植物外来种的生态风险评价. 西部林业科学, 51(2): 113–123, 154.
- 曾胜兰, 2011. 道路建设对路边植物群落的影响. 硕士学位论文. 上海: 复旦大学.
- ADDON B A, 2021. Spatial distribution patterns of benthic macroinvertebrate functional feeding groups in two rivers of the Olifants River system, South Africa. *Journal of Freshwater Ecology*, 36(1): 97–109.
- BLACKBURN T M, DELEAN S, PYSEK P, CASSEY P, 2016. On the island biogeography of aliens: a global analysis of the richness of plant and bird species on oceanic islands. *Global Ecology and Biogeography*, 25(7): 859–868.
- DIMITRAKOPOULOS P G, KOUKOULAS S, GALANIDIS A, DELIPEITROU P, GOUNARIDIS D, TOULLOUMI K, ARIANOUTSOU M, 2017. Factors shaping alien plant species richness spatial patterns across natura 2000 special areas of conservation of greece. *Science of the Total Environment*, 601/602: 461–468.
- DODONOV P, HARPER K A, XAVIER R, DALVA M, 2019. Spatial pattern of invasive and native graminoids in the brazilian cerrado. *Plant Ecology*, 220(7/8): 741–756.
- FOEMAN R T T, 2000. Estimate of area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 14(1): 31–35.
- GURVICH D E, TECCO P A, DÍ A Z S, 2005. Plant invasions in undisturbed ecosystems: the triggering attribute approach. *Journal of Vegetation Science*, 16(6): 723–728.
- MOROZOVA O V, TISHKOV A A, 2021. Alien plant species in the Russian Arctic: spatial patterns, corridors, and local invasions. *Russian Journal of Biological Invasions*, 12(4): 377–386.
- PAN X B, ZHANG J Q, XU H, ZHANG X L, ZHANG W, SONG H H, ZHU S F, 2015. Spatial similarity in the distribution of invasive alien plants and animals in China. *Natural Hazards*, 77(3): 1751–1764.
- PALMER M W, 2006. Scale dependence of native and alien species richness in North American Floras. *Preslia*, 78(4): 427–436.
- SCHARTAU A K, MARUASH H L, CHRISTOFFERSEN K S, BOGAN D, DUBOVSKAYA O P, FEFILOVA E B, HAYDEN B, INGVASON H R, IVANOVA E A, KONONOVA O N, KRAVCHUK E S, LENTO J, MAJANEVA M, NOVICHKOVA A A, RAUTIO M, RHLAND K M, SHAFTEL R, SMOL J P, VREDE T, KAHILAINEN K K, 2021. First circumpolar assessment of Arctic freshwater phytoplankton and zooplankton diversity: spatial patterns and environmental factors. *Freshwater Biology*, 67(1): 141–158.
- WANG Z H, FANG J Y, TANG Z Y, LIN X, 2011. Patterns, determinants and models of woody plant diversity in China. *Proceedings of the Royal Society B*, 278: 2122–2132.