

滇池西岸湿地公园园林植物外来种生态风险评价

彭麟迪, 汪琼, 张红丽, 郑成洁, 王南媛, 潘曲波

(西南林业大学 园林园艺学院 国家林业和草原局西南风景园林工程技术研究中心/云南省功能性花卉资源及产业化技术工程研究中心, 云南昆明 650224)

摘要: 【目的】对滇池西岸3个湿地公园内园林植物外来种进行生态风险评价, 探究其潜在生态风险、风险特征和危害现状。【方法】通过线路踏查法和重点区域普查法对滇池西岸的3个湿地公园进行调查, 收集园林植物外来种生长特性、生态特征、地理区系、扩散逸生等数据, 并结合专家咨询法、层次分析法和聚类分析法, 构建生态风险评价体系对小区域园林植物外来种进行评价。【结果】3个湿地公园共有93种园林植物外来种, 隶属48科77属, 地理区系以世界广布种和热带广布种为主, 乔木(含竹类)、灌木(含藤本)、草本所占比例分别为39.78%、30.11%、30.11%。在被评价的58种园林植物外来种中, 圆叶牵牛 *Pharbitis purpurea*、凤眼蓝 *Eichhornia crassipes*、加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* 等为高风险植物, 蒲苇 *Cortaderia selloana*、秋英 *Cosmos bipinnatus*、红车轴草 *Trifolium pratense* 等为中风险植物。层次聚类分析表明: 中高风险植物因风险成因特征接近, 与聚类中心的距离比低风险植物更为接近; 同一风险下乔灌木因生长特征接近, 与聚类中心的距离比草本植物更为接近。【结论】被评价的58种园林植物外来种中, 高、中风险物种以草本占大多数, 且以世界广布种为主。在该区域引种应用园林植物外来种需慎重选择、严格防控, 高风险植物需及时清除, 特别要加大对加拿大一枝黄花的防治力度。图2表7参26

关键词: 滇池; 城市湿地公园; 植物入侵; 生态风险评价; 园林植物

中图分类号: S718.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2023)01-0217-10

Ecological risk assessment of alien landscaping plants in wetland parks on the west bank of Dianchi Lake

PENG Lindi, WANG Qiong, ZHANG Hongli, ZHENG Chengjie, WANG Nanyuan, PAN Qubo

(Southwest Landscape Architecture Engineering Research Center of National Forestry and Grassland Administration/Yunnan Engineering Research Center for Functional Flower Resources and Industrialization, College of Landscape and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] This study aims to evaluate the ecological risk of alien species of landscaping plants in 3 wetland parks on the west bank of Dianchi Lake, and explore their potential ecological risk, risk characteristics and hazard status. [Method] By route inspection method and key regional reconnaissance method, 3 wetland parks on the west bank of Dianchi Lake were investigated. Data on the growth characteristics, ecological characteristics, geographical flora, diffusion and escape of alien species of landscaping plants were collected. Combined with expert consultation method, analytic hierarchy process and cluster analysis, the ecological risk assessment system was established to evaluate alien species of landscaping plants in small areas. [Result] There were 93 species of alien landscaping plants in the 3 wetland parks, belonging to 48 families and 77 genera, and geographical flora was dominated by world widespread and tropical widespread varieties. The

收稿日期: 2022-04-15; 修回日期: 2022-08-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31760234)

作者简介: 彭麟迪 (ORCID: 0000-0001-5086-3013), 从事风景园林规划与设计研究。E-mail: 1145717817@qq.com。

通信作者: 潘曲波 (ORCID: 0000-0002-3689-0928), 高级实验师, 从事风景园林规划设计研究。E-mail: 16826877@qq.com

proportions of trees (including bamboo), shrubs (including vine) and herbs were 39.78%, 30.11% and 30.11%, respectively. Among the 58 alien species evaluated, *Pharbitis purpurea*, *Eichhornia crassipes*, and *Solidago canadensis* were high risk plants, while *Cortaderia selloana*, *Cosmos bipinnatus*, and *Trifolium pratense* were medium risk plants. Hierarchical clustering analysis showed that the risk genetic characteristics of the medium and high risk plants were similar, and the distance to the cluster center was closer than that of the low risk plants. Under the same risk, trees and shrubs were closer to the cluster center than herbs because of their similar growth characteristics. [Conclusion] Among the 58 alien species evaluated, herbaceous plants account for the majority of the high and medium risk species, and most of them are widely distributed in the world. The application of alien species of landscaping plants in this area should be selected and controlled strictly. High risk plants need to be cleared in time especially *S. canadensis*. [Ch, 2 fig. 7 tab. 26 ref.]

Key words: Dianchi Lake; urban wetland parks; plant invasion; ecological risk assessment; landscaping plants

生物入侵是指在特定的生态系统下，非本地生物的引入产生或可能产生的经济和环境损失或对人类、动物及植物健康危害的情况^[1]。在全球化进程中，生物入侵每年造成的损失已超过 1×10^{13} 美元，中国每年农林生态系统损失约 4×10^{10} 元，其中绝大部分是由外来植物入侵造成的植被危害所导致^[2]。引入园林植物外来种原是为解决城市化进程中公共环境建设面临的资源短缺问题，但因时滞效应产生的负面影响具有潜伏性，若园林植物外来种归化后克服了传播障碍，就会在远离引种地建立具有入侵性的新种群，从而破坏生态平衡，降低生物多样性^[3]。因此，评估园林植物外来种入侵生态风险对后续园林植物的引种应用具有指导意义。

滇池是云南省面积最大的高原淡水湖泊，也是国家环境重点治理的“三湖三河”（淮河、海河、辽河和太湖、巢湖、滇池）之一^[4]。早些年在滇池外围建立了防浪堤，但这一举措使滇池原有的浅滩湿地面积锐减。自20世纪80年代以来，国家及地方政府不断加大对滇池保护和污染治理的力度，同时出于维护湿地生态平衡，提供人湖互动空间等目的，对滇池区域的湿地进行了恢复，建成大量湿地公园^[5]。与紧邻城区的滇池北岸、东岸及南岸湿地公园不同的是，远郊西岸的湿地公园近年来因缺乏管理日渐荒芜，在湖泊治理、湖岸美化建设过程中引入的园林植物外来种已成为威胁滇池生态安全的隐患。对滇池西岸的园林植物外来种进行生态风险评价能有效支持区域生态建设、系统管理和环境修复等诸多工作^[6]，可为后续的规划及管理提供重要的参考价值，为滇池和高原区域生态安全及高原湿地植物入侵等相关研究提供资料。

1 调查研究方法

1.1 研究区概况

滇池西岸的湿地公园位于云南省昆明市滇池湖滨湿地区 ($20^{\circ}30'49''\sim25^{\circ}13'14''N$, $102^{\circ}32'58''\sim102^{\circ}58'28''E$) 的环湖西路段及环湖南路古城段，西靠西山、观音山和豹子山，森林植被资源丰富；东接多个鸟类保育区及土著、稀有水生植物保护区。在2015年滇池管理局颁布的《滇池分级保护范围划定方案》中，滇池西岸区域被划分为多个生态价值较高的一、二级保护区，以及几个零星分布可用于建设的三级保护区，相较于滇池东岸、北岸和南岸具有更高的生态保护需求。

本研究选取滇池西岸具有代表性的3个湿地公园：西华湿地公园、晖湾湿地公园和古城河河口湿地公园作为调查对象（表1），对公园内分布的园林植物外来种进行调查评价。

1.2 研究方法

1.2.1 外业调研 2019年3—7月及2021年9月，对滇池西岸3个湿地公园的场地现状及植物种类进行了一、二轮调查和补充调查。调查采用线路踏查法和重点区域普查法，草本植物采用 $1m \times 1m$ 的样方，灌木及藤本植物采用 $5m \times 5m$ 的样方，乔木采用 $10m \times 10m$ 的样方。植物调查内容包括植物的生长状况及扩散逸生情况。

1.2.2 种类鉴定及区系成分统计 参考中国植物志官网 (<http://www.iplant.cn/>)、*Flora of China* 及《云南植

表1 滇池西岸3个湿地公园情况

Table 1 Status statistics of three wetland parks on the west bank of Dianchi Lake

| 公园名称 | 纬度(N) | 经度(E) | 行政管辖区 | 面积/hm ² | 规划方向 |
|-----------|-------------|--------------|-------|--------------------|-------------|
| 西华湿地公园 | 24°52'39.5" | 102°39'44.1" | 西山区 | 52.080 | 城市湿地公园 |
| 晖湾湿地公园 | 24°55'06.4" | 102°38'35.7" | 西山区 | 132.000 | 湿地自然保护区 |
| 古城河河口湿地公园 | 24°42'12.6" | 102°36'03.2" | 晋宁县 | 85.148 | 并入环滇池生态廊道建设 |

物志》等相关资料进行种类鉴定及原产地和应用类型的统计；按照吴征镒等^[7]对世界种子植物科、属分布区类型的划分，对园林植物外来种进行区系成分统计。

1.2.3 生态风险评价体系构建 参考王焱等^[8]的研究，对滇池西岸园林植物外来种进行生态风险预评价，即依据所调查的植物原产地是否为云南省，将其划分为乡土植物和外来植物；再依据外来植物是否能应用于园林观赏，将其划分为园林植物外来种和非园林植物外来种；最后将这些植物分成“已存在和未引入”2种不同状态，并依据实际情况(如引种生长状况等)归入2种不同评价体系。在排除不具有入侵记录、生长适应差、分布面积小且未逸生的园林植物外来种后，最终从“已存在”的93种园林植物外来种中筛选出58种待评价的园林植物外来种。

参考潘曲波等^[9]研究，构建多指标综合评价体系框架，即将体系框架划分为3个指标层：1级指标层(总目标层)3个，分别为园林植物自身特性、引种地自然环境、引种地人为影响情况；2级指标层(分目标层)11个，是对一级指标扩展与延伸；3级指标层39个，是具体的操作性指标。同时，评价体系的赋值由专家咨询法和层次分析法共同完成，其计算结果得到的一致性比率(CR)<0.1，即其权重值均通过一致性检验。参考马金双等^[10]的研究，挑选30种该书中记载的园林植物入侵种作为检验植物，利用SPSS的K-Means聚类算法将其聚为3类；在排除异常点后，以每类最低分作为划分标准，得到3个风险等级，用P表示得分值，即P≥68.0时为高风险，63.5≤P<68.0时为中风险，18.5≤P<63.5时为低风险。

根据层次分析法的计算结果，参照划分标准评价58种园林植物外来种的生态风险，并提出防控建议。

2 结果与分析

2.1 种类组成与地理成分

3个湿地公园共有93种园林植物外来种(含种下等级)，隶属48科77属；西华湿地公园内园林植物外来种应用总数最多，晖湾湿地公园应用总数最少(表2)。由表3可见：3个湿地公园园林植物外来种中应用种类最多的科为豆科Fabaceae，约占总数的9.68%，其中5种在《中国外来入侵植物名录》中有记载，即白车轴草 *Trifolium repens* 为二级入侵植物，黑荆 *Acacia mearnsii* 为三级入侵植物，红车轴草 *Trifolium pratense* 为四级入侵植物，银荆 *Acacia dealbata* 和双荚决明 *Senna bicapsularis* 为有待考察植物；排第2位的禾本科 Gramineae 约占总数的7.53%；排第3位的蔷薇科 Rosaceae 约占总数的5.38%，两者所拥有的园林植物外来种在《中国外来入侵植物名录》内均未记载；排第4位的菊科 Asteraceae 约占总数的4.30%，其中3种有入侵记录，分别为一级入侵植物加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis*、四级入侵植物秋英 *Cosmos bipinnatus* 和万寿菊 *Tagetes erecta*。

园林植物外来种的科、属地理区系最多的为世界广布型(表4)，其次为较适应生长于昆明亚热带高原季风气候的泛热带区类型(即热带广布型和以南半球为主的泛热带区)。所有源于热带区的植物共计22科29属，约占总数的45.83%和37.67%，其中以热带广布型最多，共有13科16属，分别占总数的27.08%和20.78%；热带亚洲至热带大洋洲类型最少，仅有1科1属，即苏铁科苏铁属 *Cycas*，分别占总数的2.08%和1.30%。

2.2 生活型构成

3个湿地公园园林植物外来种中，乔木及竹类共有37种，约占总种数的39.78%；灌木28种，约占

表2 3个湿地公园园林植物外来种科、属、种组成

Table 2 Floristic composition of alien landscaping plant species in three wetland parks

| 公园名称 | 科 | 属 | 种 |
|-----------|----|----|----|
| 西华湿地公园 | 35 | 48 | 52 |
| 晖湾湿地公园 | 23 | 30 | 34 |
| 古城河河口湿地公园 | 30 | 41 | 46 |
| 合计 | 48 | 77 | 93 |

表3 3个湿地公园园林植物外来种所属科的比例

Table 3 Proportion of alien landscaping plant species to families in three wetland parks

| 科名 | 种数 | 占比/% | 科名 | 种数 | 占比/% | 科名 | 种数 | 占比/% |
|---------------------|----|------|--------------------|----|------|---------------------|----|------|
| 豆科 | 9 | 9.68 | 桃金娘科 Myrtaceae | 2 | 2.15 | 石蒜科 Amaryllidaceae | 1 | 1.08 |
| 禾本科 | 7 | 7.53 | 茄科 Solanaceae | 2 | 2.15 | 石榴科 Punicaceae | 1 | 1.08 |
| 蔷薇科 | 5 | 5.38 | 千屈菜科 Lythraceae | 2 | 2.15 | 山茶科 Theaceae | 1 | 1.08 |
| 杉科 Taxodiaceae | 4 | 4.30 | 木兰科 Magnoliaceae | 2 | 2.15 | 莎草科 Cyperaceae | 1 | 1.08 |
| 菊科 Asteraceae | 4 | 4.30 | 马鞭草科 Verbenaceae | 2 | 2.15 | 南洋杉科 Araucariaceae | 1 | 1.08 |
| 紫茉莉科 Nyctaginaceae | 3 | 3.23 | 锦葵科 Malvaceae | 2 | 2.15 | 木犀科 Oleaceae | 1 | 1.08 |
| 桑科 Moraceae | 3 | 3.23 | 银杏科 Ginkgoaceae | 1 | 1.08 | 美人蕉科 Cannaceae | 1 | 1.08 |
| 槭树科 Aceraceae | 3 | 3.23 | 竹芋科 Marantaceae | 1 | 1.08 | 满江红科 Azollaceae | 1 | 1.08 |
| 唇形科 Lamiaceae | 3 | 3.23 | 芭蕉科 Musaceae | 1 | 1.08 | 金缕梅科 Hamamelidaceae | 1 | 1.08 |
| 棕榈科 Arecaceae | 2 | 2.15 | 杨柳科 Salicaceae | 1 | 1.08 | 夹竹桃科 Apocynaceae | 1 | 1.08 |
| 紫葳科 Bignoniaceae | 2 | 2.15 | 旋花科 Convolvulaceae | 1 | 1.08 | 黄杨科 Buxaceae | 1 | 1.08 |
| 樟科 Lauraceae | 2 | 2.15 | 天南星科 Araceae | 1 | 1.08 | 海桐花科 Pittosporaceae | 1 | 1.08 |
| 雨久花科 Pontederiaceae | 2 | 2.15 | 天门冬科 Asparagaceae | 1 | 1.08 | 凤仙花科 Balsaminaceae | 1 | 1.08 |
| 小二仙草科 Haloragaceae | 2 | 2.15 | 苏铁科 Cycadaceae | 1 | 1.08 | 大戟科 Euphorbiaceae | 1 | 1.08 |
| 五加科 Araliaceae | 2 | 2.15 | 松科 Pinaceae | 1 | 1.08 | 柏科 Cupressaceae | 1 | 1.08 |
| 卫矛科 Celastraceae | 2 | 2.15 | 柿科 Ebenaceae | 1 | 1.08 | 百合科 Liliaceae | 1 | 1.08 |

表4 3个湿地公园园林植物外来种科、属的地理分布

Table 4 Geographical distribution of species and genera of alien landscaping plant species in three wetland parks

| 分布区类型 | 科 | | 属 | |
|----------------------------|----|-------|----|-------|
| | 数量 | 占比/% | 数量 | 占比/% |
| 1 广布(世界广布) | 14 | 29.17 | 34 | 44.16 |
| 2 泛热带(热带广布) | 13 | 27.08 | 16 | 20.78 |
| 2S 以南半球为主的泛热带 | 2 | 4.17 | 3 | 3.90 |
| 3 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断 | 3 | 6.25 | 6 | 7.79 |
| 4 旧世界热带 | 3 | 6.25 | 3 | 3.90 |
| 5 热带亚洲至热带大洋洲 | 1 | 2.08 | 1 | 1.30 |
| 8 北温带 | 2 | 4.17 | 2 | 2.60 |
| 8-4 北温带和南温带间断分布 | 5 | 10.42 | 5 | 6.49 |
| 9 东亚及北美间断 | 2 | 4.17 | 4 | 5.19 |
| 12 地中海区、西亚至中亚 | | | | |
| (12-4) 巴尔干半岛至西喜马拉雅间断于索科特群岛 | 1 | 2.08 | 1 | 1.30 |
| 15 中国特有 | 1 | 2.08 | 1 | 1.30 |
| (16) 南半球热带以外间断或星散分布 | 1 | 2.08 | 1 | 1.30 |
| 总计 | 48 | 100 | 77 | 100 |

总种数的 30.11%；草本 28 种，约占总种数的 30.11%。古城河河口湿地公园园林植物外来种中草本应用最多，约占总种数的 50%；西华湿地公园和晖湾湿地公园均是乔木及竹类应用较多，均占各自总种数的 40% 以上(表5)。

2.3 园林植物外来种生态风险评价

评价体系检验的 30 种园林植物外来种的 K-Means 聚类结果等级划分显示，低风险聚类中存在 64.5 分的 1 个异常点(图 1)。由评价体系检验结果统计可知，该点为第 17 个样本为凤仙花 *Impatiens balsamina*，在《中国外来入侵植物名录》中被列为“有待观察”(表 6)。凤仙花起源于印度与缅甸，在中国云南省内分布较广，原产地与云南接近，虽评分偏高，但不具有普遍性，列为特殊值，不作为等级划分的参照标准。

表5 3个湿地公园园林植物外来种生活型构成

Table 5 Life forms of alien species in three wetland parks

| 生活型 | 古城河河口湿地公园 | | 西华湿地公园 | | 晖湾湿地公园 | | 总计 | | |
|-----|-----------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 种数 | 占比/% | 种数 | 占比/% | 种数 | 占比/% | 种数 | 占比/% | |
| 乔木 | 13 | 28.26 | 19 | 36.54 | 13 | 38.24 | 33 | 35.48 | |
| 竹类 | 1 | 2.17 | 2 | 3.85 | 2 | 5.88 | 4 | 4.30 | |
| 灌木 | 非藤本 | 8 | 17.39 | 12 | 23.08 | 8 | 23.53 | 24 | 25.81 |
| | 藤本 | 1 | 2.17 | 3 | 5.77 | 4 | 11.76 | 4 | 4.30 |
| | 小计 | 9 | 19.57 | 15 | 28.85 | 12 | 35.29 | 28 | 30.11 |
| 草本 | 1年生草本 | 5 | 10.87 | 3 | 5.77 | 1 | 2.94 | 6 | 6.45 |
| | 多年生草本 | 15 | 32.61 | 12 | 23.08 | 6 | 17.65 | 19 | 20.43 |
| | 1年生或多年生草本 | 3 | 6.52 | 1 | 1.92 | | | 3 | 3.23 |
| | 小计 | 23 | 50.00 | 16 | 30.77 | 7 | 20.59 | 28 | 30.11 |
| | 总计 | 46 | 100 | 52 | 100 | 34 | 100 | 93 | 100 |

滇池西岸湿地公园 58 种园林植物外来种(含种下等级)中高风险植物共计 6 种, 分别为圆叶牵牛 *Pharbitis purpurea*、马缨丹 *Lantana camara*、凤眼蓝 *Eichhornia crassipes*、加拿大一枝黄花、大薸 *Pistia stratiotes* 和白车轴草(表 7), 其中 3 个湿地公园共有植物为圆叶牵牛、凤眼蓝和白车轴草。中风险植物共计 11 种, 列入入侵物种名录的中风险植物有黑荆、曼陀罗 *Datura stramonium*、秋英、红车轴草、凤仙花、紫茉莉 *Mirabilis jalapa*、万寿菊、粉绿狐尾藻 *Myriophyllum aquaticum*, 其中 3 个湿地公园共有植物为秋英和蒲苇 *Cortaderia selloana*; 低风险植物共计 41 种, 评分较高、接近中风险分值的有叶子

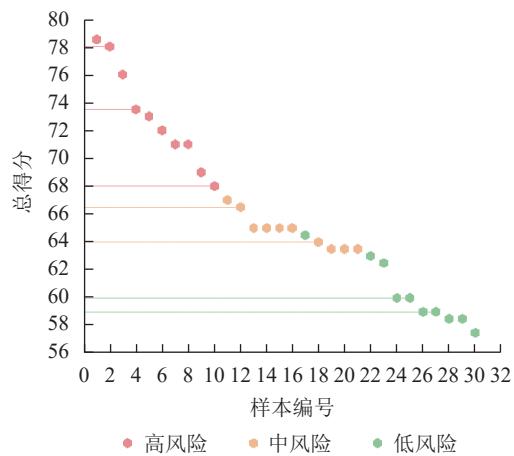


图 1 K-Means 聚类等级划分示意图

Figure 1 Schematic diagram of K-means clustering classification

表6 30种园林植物外来种生态评价体系检验结果

Table 6 Ecological evaluation system for 30 alien landscaping plant species

| 样本编号 | 植物名称 | 入侵植物 名录等级 | 评价总得分 | 风险聚 类划分 | 样本编号 | 植物名称 | 入侵植物 名录等级 | 评价总得分 | 风险聚 类划分 |
|------|---------|--------------|-------|------------|------|-------|--------------|-------|------------|
| 1 | 圆叶牵牛 | 一级 | 78.5 | 高 | 16 | 秋英 | 四级 | 65.0 | 中 |
| 2 | 马缨丹 | 一级 | 78.0 | 高 | 17 | 凤仙花 | 有待观察 | 64.5 | 低 |
| 3 | 凤眼蓝 | 一级 | 76.0 | 高 | 18 | 紫茉莉 | 四级 | 64.0 | 中 |
| 4 | 加拿大一枝黄花 | 一级 | 73.5 | 高 | 19 | 茑萝松 | 三级 | 63.5 | 中 |
| 5 | 大薸 | 一级 | 73.0 | 高 | 20 | 粉绿狐尾藻 | 三级 | 63.5 | 中 |
| 6 | 细叶满江红 | 三级 | 72.0 | 高 | 21 | 万寿菊 | 四级 | 63.5 | 中 |
| 7 | 白车轴草 | 二级 | 71.0 | 高 | 22 | 叶子花 | 建议排除和国产 | 63.0 | 低 |
| 8 | 仙人掌 | 二级 | 71.0 | 高 | 23 | 光叶子花 | 建议排除和国产 | 62.5 | 低 |
| 9 | 南美蟛蜞菊 | 二级 | 69.0 | 高 | 24 | 蓝桉 | 有待观察 | 60.0 | 低 |
| 10 | 巴西含羞草 | 二级 | 68.0 | 高 | 25 | 美人蕉 | 建议排除和国产 | 60.0 | 低 |
| 11 | 黑荆 | 三级 | 67.0 | 中 | 26 | 珊瑚豆 | 有待观察 | 59.0 | 低 |
| 12 | 曼陀罗 | 二级 | 66.5 | 中 | 27 | 再力花 | 建议排除和国产 | 59.0 | 低 |
| 13 | 珊瑚藤 | 三级 | 65.0 | 中 | 28 | 银荆 | 有待观察 | 58.5 | 低 |
| 14 | 刺槐 | 四级 | 65.0 | 中 | 29 | 双荚决明 | 有待观察 | 58.5 | 低 |
| 15 | 红车轴草 | 四级 | 65.0 | 中 | 30 | 假连翘 | 建议排除和国产 | 57.5 | 低 |

说明: 细叶满江红 *Azolla filiculoides*; 仙人掌 *Opuntia dillenii*; 南美蟛蜞菊 *Sphagneticola trilobata*; 巴西含羞草 *Mimosa diplostachya*; 珊瑚藤 *Antigonon leptopus*; 刺槐 *Robinia pseudoacacia*; 茑萝松 *Quamoclit pennata*; 珊瑚豆 *Solanum pseudocapsicum* var. *diflorum*; 再力花 *Thalia dealbata*; 假连翘 *Duranta erecta*; 蓝桉 *Eucalyptus globulus*; 美人蕉 *Canna indica*

表7 滇池西岸湿地公园58种园林植物外来种生态风险评价结果

Table 7 Ecological evaluation of 58 alien landscaping plant species in west bank of Dianchi wetland park

| 科 | 种 | 生长型 | 评估得分 | 风险等级 |
|-------|---|-------------|------|------|
| 旋花科 | 圆叶牵牛 | 1、2年生草本 | 78.5 | 高 |
| 马鞭草科 | 马缨丹 | 灌木 | 78.0 | 高 |
| 雨久花科 | 凤眼蓝 | 1、2年生草本 | 76.0 | 高 |
| 菊科 | 加拿大一枝黄花 | 多年生草本 | 73.5 | 高 |
| 天南星科 | 大薸 | 多年生草本 | 73.0 | 高 |
| 豆科 | 白车轴草 | 多年生草本 | 71.0 | 高 |
| 豆科 | 黑荆 | 乔木 | 67.0 | 中 |
| 茄科 | 曼陀罗 | 1、2年生草本 | 66.5 | 中 |
| 禾本科 | 蒲苇 | 多年生草本 | 66.0 | 中 |
| 菊科 | 秋英 | 1、2年生/多年生草本 | 65.0 | 中 |
| 豆科 | 红车轴草 | 多年生草本 | 65.0 | 中 |
| 雨久花科 | 梭鱼草 <i>Pontederia cordata</i> | 多年生草本 | 65.0 | 中 |
| 凤仙花科 | 凤仙花 | 1、2年生草本 | 64.5 | 中 |
| 紫茉莉科 | 紫茉莉 | 1、2年生草本 | 64.0 | 中 |
| 小二仙草科 | 粉绿狐尾藻 | 多年生草本 | 63.5 | 中 |
| 菊科 | 万寿菊 | 1、2年生草本 | 63.5 | 中 |
| 莎草科 | 风车草 <i>Cyperus involucratus</i> | 多年生草本 | 63.5 | 中 |
| 紫茉莉科 | 叶子花 | 藤本 | 63.0 | 低 |
| 紫茉莉科 | 光叶子花 | 藤本 | 62.5 | 低 |
| 禾本科 | 花叶芦竹 | 多年生草本 | 62.0 | 低 |
| 桃金娘科 | 蓝桉 | 乔木 | 60.0 | 低 |
| 美人蕉科 | 美人蕉 | 多年生草本 | 60.0 | 低 |
| 茄科 | 珊瑚豆 | 灌木 | 59.0 | 低 |
| 竹芋科 | 再力花 | 多年生草本 | 59.0 | 低 |
| 豆科 | 银荆 | 乔木 | 58.5 | 低 |
| 豆科 | 双荚决明 | 灌木 | 58.5 | 低 |
| 马鞭草科 | 假连翘 | 灌木 | 57.5 | 低 |
| 禾本科 | 紫叶象草 <i>Pennisetum purpureum</i> ‘Red’ | 多年生草本 | 57.0 | 低 |
| 唇形科 | 墨西哥鼠尾草 <i>Salvia leucantha</i> | 1、2年生/多年生草本 | 56.0 | 低 |
| 天门冬科 | 金边吊兰 <i>Chlorophytum comosum</i> ‘Variegatum’ | 多年生草本 | 55.0 | 低 |
| 棕榈科 | 加拿利海枣 <i>Phoenix canariensis</i> | 乔木 | 54.5 | 低 |
| 百合科 | 萱草 <i>Hemerocallis fulva</i> | 多年生草本 | 54.0 | 低 |
| 石蒜科 | 紫娇花 <i>Tulbaghia violacea</i> | 多年生草本 | 54.0 | 低 |
| 菊科 | 黄金菊 <i>Euryops pectinatus</i> | 1、2年生/多年生草本 | 53.5 | 低 |
| 紫葳科 | 蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i> | 乔木 | 51.5 | 低 |
| 紫葳科 | 非洲凌霄 <i>Podranea ricasoliana</i> | 灌木 | 51.5 | 低 |
| 千屈菜科 | 细叶萼距花 <i>Cuphea hyssopifolia</i> | 灌木 | 51.5 | 低 |
| 五加科 | 尼泊尔常春藤 <i>Hedera nepalensis</i> | 藤本 | 51.0 | 低 |
| 禾本科 | 紫竹 <i>Phyllostachys nigra</i> | 乔木 | 50.0 | 低 |
| 禾本科 | 金竹 <i>Phyllostachys sulphurea</i> | 乔木 | 49.5 | 低 |
| 豆科 | 朱缨花 <i>Calliandra haematocephala</i> | 灌木 | 49.0 | 低 |
| 卫矛科 | 冬青卫矛 <i>Euonymus japonicus</i> | 灌木 | 49.0 | 低 |
| 锦葵科 | 木槿 <i>Hibiscus syriacus</i> | 灌木 | 47.5 | 低 |
| 唇形科 | 蓝花鼠尾草 <i>Salvia farinacea</i> | 多年生草本 | 47.5 | 低 |
| 芭蕉科 | 芭蕉 <i>Musa basjoo</i> | 多年生草本 | 46.5 | 低 |
| 松科 | 雪松 <i>Cedrus deodara</i> | 乔木 | 46.5 | 低 |
| 夹竹桃科 | 蔓长春花 <i>Vinca major</i> | 藤本 | 45.5 | 低 |

表7 (续)

Table 7 Continued

| 科 | 种 | 生长型 | 评估得分 | 风险等级 |
|------|---|-----|------|------|
| 杉科 | 落羽杉 <i>Taxodium distichum</i> | 乔木 | 45.5 | 低 |
| 金缕梅科 | 红花檵木 <i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i> | 灌木 | 45.0 | 低 |
| 棕榈科 | 丝葵 <i>Washingtonia filifera</i> | 乔木 | 44.5 | 低 |
| 木兰科 | 荷花玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i> | 乔木 | 43.5 | 低 |
| 锦葵科 | 朱槿 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> | 灌木 | 43.5 | 低 |
| 银杏科 | 银杏 <i>Ginkgo biloba</i> | 乔木 | 42.5 | 低 |
| 杉科 | 中山杉 <i>Taxodium hybridum</i> 'Zhongshanshan' | 乔木 | 42.5 | 低 |
| 豆科 | 刺桐 <i>Erythrina variegata</i> | 乔木 | 41.5 | 低 |
| 蔷薇科 | 月季花 <i>Rosa chinensis</i> | 灌木 | 41.5 | 低 |
| 蔷薇科 | 紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> 'Atropurpurea' | 乔木 | 40.0 | 低 |
| 杉科 | 水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i> | 乔木 | 39.5 | 低 |

花 *Bougainvillea spectabilis*、光叶子花 *B. glabra*、花叶芦竹 *Arundo donax* var. *versicolor*、蓝桉和美人蕉，其中花叶芦竹只分布在古城河河口湿地公园(表6)。据调查统计，古城河河口湿地公园和西华湿地公园内高、中风险园林外来植物种较多，晖湾湿地公园较少；圆叶牵牛和白车轴草在3个湿地公园广泛分布；加拿大一枝黄花仅在西华湿地公园大面积分布。

基于Word算法对58种园林植物外来种(含种下等级)生态风险评价结果进行层次聚类分析(图2)。由图2可知：样本主要被分为5类(已用颜色进行区分)，坐标轴表示任意2种园林植物外来种间的距离平方和。当距离平方和<206.69984时，样本被分为2类，即中、高风险植物与低风险植物，草本植物在高、中风险植物分类中占比较大，在低风险植物分类中占比较小；当距离平方和<53.49908时，样本被分为3类，即除中、高风险植物外，低风险植物中的草本植物和乔灌藤植物被分开；当距离平方和<23.92592时，样本被分为4类，此时中、高风险植物按评价等级又被分为了2类，其中，高风险植物和中风险植物评估得分大多较接近，分差较小，低风险植物中草本评估得分偏高且较为集中，低风险乔灌藤植物评估得分则普遍偏低。由此可知：高、中风险植物间差异小于低风险植物中草本和乔灌藤等的差异。当样本被分为5类时，由得分值的高低将低风险植物乔灌藤等大致分为2类，得分偏高的占比较小，得分偏低的占比较大。上述结果表明：中风险与高风险植物的界定更多取决于植物本身在引种地的适应情况，而草本植物引种往往带来更高的生态风险。

3 结论与讨论

3.1 结论

经调查，滇池西岸3个湿地公园共有园林植物外来种93种，隶属于48科77属，以豆科植物最多。在选取评价的58种园林植物外来种(含种下等级)中，高、中风险植物共有17种，豆科和菊科植物数量最多，各有3种；低风险植物共有41种，叶子花、光叶子花、花叶芦竹、蓝桉和美人蕉得分偏高。在园林植物外来种中，高、中风险植物绝大部分为草本植物，且低风险草本植物得分普遍高于低风险乔灌藤植物。因此，引种外来园林草本植物会带来更高的生态风险。

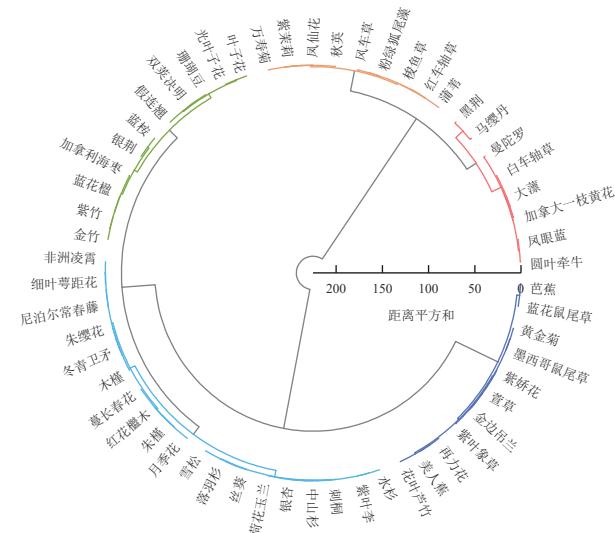


图2 58种园林植物外来种生态评价结果聚类分析

Figure 2 Cluster analysis of ecological evaluation results of 58 alien landscaping plant species

3.2 讨论

豆科植物地理分布广泛，在种子植物科中所含种数排第3位，且在生产、生活中应用较多，致使其种数占比高；除此之外，豆科植物具有优良的固氮能力，这会导致土壤氮、磷失衡，形成氮多磷少的土壤环境，有利于部分外来杂草的生长，抑制部分本土植物的生长，因而豆科植物的风险等级普遍较高^[11-12]。菊科植物为云南入侵植物最多的1个科，风险较高与其生长特性有关^[13]。其中高风险植物加拿大一枝黄花是《中国外来入侵植物名录(2018版)》记载的恶性入侵种，近年来已经严重危害中国中、东部的农业生产和生态安全。2014年对滇池地区的加拿大一枝黄花进行调查时，还未见形成大面积危害^[14]，但在2021年实地调查中发现西华湿地公园内加拿大一枝黄花长势繁盛，形成以加拿大一枝黄花为主，掺杂圆叶牵牛、鬼针草 *Bidens pilosa*、双穗雀稗 *Paspalum distichum* 等入侵植物的大型植物群落，对西华湿地公园的生态安全构成严重威胁。

黑荆与曼陀罗分别是《中国外来入侵植物名录(2018版)》记载的局部入侵种和恶性入侵种，但在本次研究中被评估为中风险，可能与滇池西岸引种地生长情况有关。黑荆是提炼栲胶的优良树种，在20世纪60年代末由于建设经济林、保持水土和改良土壤的需要而被引种应用^[15]，滇池也曾为治理水体污染引种应用，后因其长势过快，以及不得引入入侵物种的规定而被清除，调查区域仅剩的几株应是多次清除后的残留植株。曼陀罗在调查区域仅见1株，且长势不良，可能同为清除后的残留植株。此外，粉绿狐尾藻也是《中国外来入侵植物名录(2018版)》中记载的局部入侵种，本研究中被评估为中风险。粉绿狐尾藻与狐尾藻 *M. verticillatum* 特性相似，当其与本土种穗花狐尾藻 *M. spicatum* 混生时易被误认，从而忽略其入侵性。

蒲苇、梭鱼草、风车草虽未列入《中国外来入侵植物名录(2018版)》，但也在本研究中被评估为中风险，这可能与其生长特性有关。国内已有对蒲苇和梭鱼草入侵风险的研究，发现它们的耐受能力强，可形成单优群落，具有一定风险性^[16]。有研究发现：蒲苇在国外有入侵记录，梭鱼草因具观赏性或水体净化能力^[17-18]，在滇池流域引种并广泛应用^[19]，致使其风险增加。风车草为人工湿地常见植物，多用于滇池污染治理^[20-21]，在刘蕴哲^[22]的研究中将其确定为高风险，与评价结果差异较大，这可能与其生长特性、生长环境和后期养护均有关，因风车草在污染区生长快，应加强管控避免形成单优群落。

在近代，昆明市植物区系组成呈现出热带成分与温带成分相结合的高原山地亚热带气候特征^[23]，而滇池西岸3个湿地公园引种的近半数园林植物外来种来源地具有热带、亚热带气候特征，可见公园在引种时偏重选择原产地气候与昆明接近的园林植物外来种。同时，中、高风险植物所属科多为广布科和热带科，相似的气候环境使适应快、入侵潜力高的物种更容易被引入。在选取评价的58种园林植物外来种的高、中风险物种中草本植物占大多数，但从引入的园林植物外来种总数来看，草本植物却不是主要生活型，3个湿地公园中也仅有西华湿地公园的草本植物种数在生活型中占比为50%。这可能与管理部门为治理滇池水体，保护生物多样性，从而引入大片以中山杉为主的针叶林来改变单一草本植物为主的分布格局等防控措施有关^[24]。

层次分析法在近年关于入侵植物风险的研究上应用较多，如魏子璐等^[25]采用该方法对宁波市外来入侵植物进行风险评估。但由于外来植物风险评估的评价方法有很多，评价标准及植物生长环境等又存在差异，这使评价结果不完全一致。如刘蕴哲^[22]采取层次分析法对长沙市三大城市湿地公园117种外来植物进行风险评估，并按照评估结果将外来入侵植物划分成3种不同风险等级，其中紫茉莉被列为一类高风险植物。吴磊^[26]采取系统分析法对黄山风景区的外来入侵植物进行风险评估，将其划分为4种不同风险等级，其中紫茉莉被列为“分布不广，偶见”。本研究评价紫茉莉风险等级为中风险，即危害性不够明显或造成区域局部危害。评价结果出现差异的原因是紫茉莉的生长及分布情况各不相同所致。

3.3 防控策略与建议

滇池西岸园林植物外来种的引种工作应因地制宜、方便管理及保护生态。对于兼顾游憩科普和人为干扰较多的西华湿地公园，以及并入生态环道建设、统一岸线景观的古城河河口湿地公园，都应禁止引种高风险植物，实时监控中风险植物，优先引种乡土植物和低风险植物。对于已经变更为保护区的晖湾湿地公园应不再引种园林植物外来种。在引种园林植物外来种时，应提前对其进行生态风险评估，并充

分考虑引种地实际情况。对于已引种应用的园林植物外来种,则应根据其风险评价等级,制定相应的动态监测与防控措施,如对加拿大一枝黄花等高风险园林植物外来种采取全面清除措施,并做好定时监测检查等管控工作。

4 参考文献

- [1] REASER J K, BURGIEL S W, KIRKEY J, et al. The early detection of and rapid response (EDRR) to invasive species: a conceptual framework and federal capacities assessment [J]. *Biological Invasions*, 2020, **22**(1): 1–19.
- [2] 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 Huixuan, ZHOU Ting, CHEN Baoming, et al. Ecological control of exotic invasive plants [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2021, **60**(4): 1–11.
- [3] 姚驰远,张德顺,MATTHIAS M,等.园林植物引种与入侵植物防控[J].*中国城市林业*,2021,**19**(2): 17–21,28.
YAO Chiyuan, ZHANG Deshun, MATTHIAS M, et al. Invasive plants prevention and control in the introduction of landscape plants [J]. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2021, **19**(2): 17–21, 28.
- [4] 祝艳,韩林沛,刘丽君,等.2018年滇池水环境质量评价研究[J].*环境科学导刊*,2020,**39**(2): 75–85.
ZHU Yan, HAN Linpei, LIU Lijun, et al. Water quality assessment of Dianchi Lake in 2018 [J]. *Environmental Science Survey*, 2020, **39**(2): 75–85.
- [5] 陈云彪,王锦,潘曲波.滇池湖滨湿地公园园林植物地理区系类型及外来种应用研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,**40**(6): 58–72.
CHEN Yunbiao, WANG Jin, PAN Qubo. Study on geographical flora of landscape plants and application of exotic species in wetland parks of Dianchi Lake [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 2020, **40**(6): 58–72.
- [6] 曹祺文,张曦文,马洪坤,等.景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架:ESRISK[J].*地理学报*,2018,**73**(5): 843–855.
CAO Qiwen, ZHANG Xiwen, MA Hongkun, et al. Review of landscape ecological risk and an assessment framework based on ecological services: ESRISK [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, **73**(5): 843–855.
- [7] 吴征镒,周浙昆,李德铢,等.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 Zhengyi, ZHOU Zhekun, LI Dezhu, et al. The areal-types of the world families of seed plants [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003, **25**(3): 245–257.
- [8] 王焱,叶建仁.引进植物及其携带有害生物风险评估[M].上海:上海科学技术出版社,2017: 3–62.
WANG Yan, YE Jianren. *Risk Assessment for the Imported Plants and their Carried Harmful Insects and Pathogens* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2017: 3–62.
- [9] 潘曲波,汪琼.滇中园林湿地外来植物种生态风险评价与配置[M].昆明:云南科技出版社,2021: 7–28.
PAN Qubo, WANG Qiong. *Ecological Risk Assessment and Planting Arrangement of Alien Landscaping Plants in Wetland Park on the Central Part of Yunnan Province* [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2021: 7–28.
- [10] 马金双,李惠茹.中国外来入侵植物名录[M].北京:高等教育出版社,2018: 2–249.
MA Jinshuang, LI Huiru. *The Checklist of the Alien Invasive Plants in China* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2018: 2–249.
- [11] ULM F, HELLMANN C, CRUZ C, et al. N/P imbalance as a key driver for the invasion of oligotrophic dune systems by a woody legume [J]. *Oikos*, 2017, **126**(2): 231–240.
- [12] VINOGRADOVA Y. Bio-morphological characters of alien legume species, influencing their invasion in natural plant communities [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2016, **7**: 2390–2398.
- [13] 王德艳,张大才,胡世俊,等.云南菊科入侵植物入侵机制及其利用研究进展[J].*生物安全学报*,2017,**26**(4): 259–265.
WANG Deyan, ZHANG Dacai, HU Shijun, et al. Understanding the invasion mechanism and utilization of invasive Asteraceae in Yunnan Province [J]. *Journal of Biosafety*, 2017, **26**(4): 259–265.
- [14] 李金,吴良早,吴兆录,等.加拿大一枝黄花在新进入地滇池湖滨区的分布与群落学特征[J].*云南农业大学学报(自然科学)*,2016,**31**(4): 575–581.
LI Jin, WU Liangzao, WU Zhaoluo, et al. The distribution and community characteristics of *Solidago canadensis* in its

- initial intrusion areas, the shore of Dianchi Lake [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2016, **31**(4): 575 – 581.
- [15] 付增娟. 黑荆和银荆的生物入侵研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2005.
- FU Zengjuan. *Invasiveness of Two Exotic Tree Species: Acacia mearnsii De Wild. and Acacia dealbataLink*. [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2005.
- [16] 刘蕴哲, 李帅杰, 蔡秀珍. 外来植物梭鱼草和蒲苇的入侵风险研究[J]. *湖北农业科学*, 2019, **58**(23): 95 – 100.
- LIU Yunzhe, LI Shuaijie, CAI Xiuzhen. Study on invasion risk of alien plants *Pontederia cordata* L. and *Cortaderia selloana* [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019, **58**(23): 95 – 100.
- [17] XIN Jianpan, MA Sisi, LI Yan, et al. Pontederia cordata, an ornamental aquatic macrophyte with great potential in phytoremediation of heavy-metal-contaminated wetlands[J/OL]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, **203**: 111024[2022-03-15]. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.111024.
- [18] MCKNIGHT A M, GANNON T W, YELVERTON F. Phytoremediation of azoxystrobin and imidacloprid by wetland plant species *Juncus effusus*, *Pontederia cordata* and *Sagittaria latifolia* [J]. *International Journal of Phytoremediation*, 2021, **24**(2): 1 – 9.
- [19] 邓辅唐, 李强, 邓辅商. 滇池流域湿地植物的引种繁育研究[J]. *中国园林*, 2007, **23**(3): 90 – 93.
- DENG Futang, LI Qiang, DENG Fushang. Research on the introduction and breeding of Dianchi Valley Wetland Landscape Plants [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2007, **23**(3): 90 – 93.
- [20] ALAYU E, LETA S. Effectiveness of two-stage horizontal subsurface flow constructed wetland planted with *Cyperus alternifolius* and *Typha latifolia* in treating anaerobic reactor brewery effluent at different hydraulic residence times [J]. *Environmental Systems Research*, 2020, **9**(25): 1 – 15.
- [21] 罗固源, 郑剑锋, 许晓毅, 等. 4种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[J]. *环境科学学报*, 2009, **29**(2): 285 – 290.
- LUO Guyuan, ZHENG Jianfeng, XU Xiaoyi, et al. Comparison of the growth characteristics and nutrient uptake of four kinds of plants cultivated on a floating-bed [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, **29**(2): 285 – 290.
- [22] 刘蕴哲. 长沙市三大城市公园外来植物调查及其入侵风险研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2019.
- LIU Yunzhe. *Investigation on Alien Plants and the Risk of Invasion in the Three Urban Wetland Parks*[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2019.
- [23] 昆明市林业局, 云南大学生态学与地植物学研究所. 昆明植被[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1998: 51 – 85.
- Kunming Forestry Bureau, Institute of Ecology and Geobotany of Yunnan University. *Kunming Vegetation*[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1998: 51 – 85.
- [24] 施钦, 殷云龙, 华建峰, 等. 云南滇池‘中山杉118’人工林及土壤的碳、氮积累特征[J]. *植物资源与环境学报*, 2021, **30**(1): 75 – 77.
- SHI Qin, YIN Yunlong, HUA Jianfeng, et al. Carbon and nitrogen accumulation characteristics of *Taxodium ‘Zhongshanshan 118’* plantation and soil in Dianchi of Yunnan Province [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2021, **30**(1): 75 – 77.
- [25] 魏子璐, 朱峻熠, 潘晨航, 等. 宁波市外来入侵植物及其入侵风险评估[J]. 浙江农林大学学报, 2021, **38**(3): 552 – 559.
- WEI Zilu, ZHU Junyi, PAN Chenhang, et al. Investigation and risk assessment of alien invasive plants in Ningbo, Zhejiang Province [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2021, **38**(3): 552 – 559.
- [26] 吴磊. 黄山风景区外来植物入侵风险的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.
- WU Lei. *Research on Invasion Risk of Naturalized Plants in Mount Huang Scenic Area*[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2012.