

龙岩市新罗区城市绿地外来入侵植物风险评估

凌书伟^{1,2}, 林碧华^{1,2}, 阮广鸣³, 陈泽平^{1,2}, 张雨晨^{1,2}, 蔡晨^{1,2}, 李珂佳^{1,2},
郑世群^{2,4*}

1. 福建农林大学林学院, 福建福州 320002; 2. 福建农林大学生态与资源统计福建省高校重点实验室, 福建福州 320002; 3. 福建省龙岩市园林绿化中心, 福建龙岩 364000; 4. 福建农林大学菌草与生态学院(碳中和学院), 福建福州 320002

摘要: 龙岩市新罗区作为闽西地区的政治、经济及文化中心, 随着城市化进程的加快, 与周边城市人员、货物往来密切, 使得外来入侵植物侵入本地, 生物安全遭受严重威胁。本研究旨在全面掌握龙岩市新罗区城市绿地外来入侵植物的现状, 评估该地区外来入侵植物风险认知与应对能力, 以制定有效的防治策略和科学管理体系。通过实地调查、查阅相关文献资料和运用样方法收集新罗区外来入侵植物情况并构建入侵风险评估体系, 采用 DPSIR 模型结合层次分析法(AHP)确定评价指标权重, 对外来植物的入侵驱动力、对本地环境适应性、本地分布情况、对本地影响、响应措施进行综合评估, 并根据等级划分标准和风险值将外来入侵植物划分为 3 个入侵等级(I~III级)。结果表明: 新罗区城市绿地共有 65 种外来入侵植物, 隶属 22 科 52 属, 其中菊科(Asteraceae)植物种数最多, 占比为 29.23%, 其次是苋科(Amaranthaceae, 12.31%)和大戟科(Euphorbiaceae, 9.23%); 生活型共有 5 种, 一年生草本植物最多, 共有 32 种, 占比为 49.23%; 从地理来源来看, 美洲是主要来源地, 共有 48 种, 占总数的 73.85%; 分析入侵途径发现, 无意引入的植物最多, 共 35 种, 占总种数的 53.85%; 根据入侵现状评估结果, 高风险入侵植物(III级)有 16 种、中风险(II级)18 种、低风险(I级)31 种。表明新罗区城市绿地外来入侵植物种类较多, 但入侵风险等级相对不高, 多数处于中低风险(II、III级)。建议根据风险等级对危害程度最大的白花鬼针草(*Bidens alba*)和小蓬草(*Erigeron canadensis*)进行重点防控。

关键词: 外来入侵植物; 城市绿地; 层次分析法(AHP); 风险评估; 新罗区

中图分类号: S45; S688 **文献标志码:** A

Risk Assessment of Alien Invasive Plants in Urban Green Space in Xinluo District, Longyan

LING Shuwei^{1,2}, LIN Bihua^{1,2}, RUAN Guangming³, CHEN Zeping^{1,2}, ZHANG Yuchen^{1,2}, CAI Chen^{1,2},
LI Kejia^{1,2}, ZHENG Shiqun^{2,4*}

1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 320002, China; 2. Fujian High Education Key Laboratory of Ecology and Resource Statistics, Fuzhou, Fujian 320002, China; 3. Longyan Landscaping Center, Longyan, Fujian, 364000, China; 4. College of Juncao Science and Ecology (College of Carbon Neutrality), Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China

Abstract: Xinluo district of Longyan city serves as the political, economic, and cultural center of the western region of Fujian. With the acceleration of urbanization and the close exchange of people and goods with surrounding cities, invasive plants have invaded the local area, posing a serious threat to biological safety. This study aims to assess the prevalence of invasive alien plants in urban green spaces and evaluate the region's risk awareness and response capacity, thereby informing the development of effective management and control strategies. Field surveys, literature reviews,

收稿日期 2024-08-08; **修回日期** 2024-08-30

基金项目 2023 年龙岩城区公园绿地日常维护改造(含应急抢险)工程项目(No. [350801]LYCG[CS]2023015)。

作者简介 凌书伟(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 入侵生态学。*通信作者(Corresponding author): 郑世群(ZHENG Shiqun), E-mail: fjzsq@126.com。

and the application of the quadrat method were utilized to collect information on alien invasive plants in Xinluo district and construct an invasion risk assessment system. The DPSIR model combined with the analytic hierarchy process (AHP) was employed to determine the weights of evaluation indicators, and a comprehensive assessment was conducted on the driving forces of invasion, adaptability to the local environment, distribution within the locality, impact on the local area, and response measures of the alien plants. Based on the grading standards and risk values, alien invasive plants were categorized into three invasion levels (from I to III). A total of 65 alien invasive plant species were identified in the urban green spaces of Xinluo district, belonging to 22 families and 52 genera. The Asteraceae family had the highest number of species, accounting for 29.23%, followed by Amaranthaceae (12.31%) and Euphorbiaceae (9.23%). There were five life forms, with annual herbaceous plants being the most prevalent, totaling 32 species and representing 49.23% of the total. Geographically, the Americas were the primary source of these plants, with 48 species accounting for 73.85% of the total. The analysis of invasion pathways revealed that unintentionally introduced plants were the most numerous, with 35 species, constituting 53.85% of the total species count. According to the invasion status assessment results, there were 16 high-risk invasive plants (level III), 18 medium-risk (level II), and 31 low-risk (level I). While there are a considerable number of alien invasive plant species in the urban green spaces of Xinluo district, the overall invasion risk level is relatively low, with most being in the medium to low risk categories (level II and III). It is recommended to focus on the control and prevention of the most harmful species, such as *Bidens alba* and *Erigeron canadensis*, based on the risk level.

Keywords: invasive alien plants; urban green space; analytic hierarchy process (AHP); risk assessment; Xinluo district

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.01.022

贸易、旅游以及运输的全球化和日益增长的发展趋势加速了生物入侵^[1], 入侵植物扩散已成为世界性的生态安全问题。外来入侵植物借助当地适宜的水热条件, 凭借其极强的生态适应能力、繁殖能力和产生的化感物质, 严重危害本土植物的生物多样性^[2], 从而对当地的农、林、牧业经济和生态环境质量造成巨大损失^[3]。据调查统计, 我国外来入侵物种已达 660 余种, 年均损失超 2000 亿元, 且危害范围在不断扩大^[4]。在全球化发展的大环境下, 如何积极应对外来入侵植物的迅速扩散, 是入侵生物学的重点^[5]。

世界各地^[6]及中国各省(市)^[7-8]正在构建外来物种风险评价体系, 以有效应对生物入侵带来的威胁。由于外来入侵植物在不同生态系统甚至不同生境的危害状况均有较大差别, 适用于某个地域的风险评估指标体系, 不一定适合其他地域。因此, 有必要依据研究区域的实际情况建立新的入侵风险评估体系。本研究的新罗区位于龙岩市中心地带, 是闽西地区的政治、经济及文化中心, 同时也是闽粤赣边界的关键交通枢纽和主要物资集散地。随着新罗区城市化进程的加快, 与周边城市的经济、贸易、文化等方面的往来活动也越来越频繁, 人类的活动加剧了外来入侵植物的传入。

目前, 福建各地区城市绿地外来入侵植物的调查研究较少, 而关于龙岩市新罗区城市绿地外

来入侵植物尚无报道。鉴于此, 本研究在全面调查新罗区城市绿地系统外来入侵植物入侵现状的基础上, 运用 DPSIR 模型^[9]结合层次分析法(AHP)^[10]构建适宜新罗区入侵现状的风险评估指标体系, 综合评估外来入侵植物的风险等级, 为有关部门今后更科学有效地管控和处理外来入侵植物和制定防治措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

新罗区(116°58'02"~117°03'36"E, 24°59'57"~25°10'32"N)隶属福建省龙岩市, 是闽西政治、经济、文化和交通的中心, 是海峡西岸经济区的重要邻海城市, 也是闽粤赣边联结“海西”沿海、闽南“金三角”拓展腹地的重要枢纽, 陆域总面积 2678 km² (中心城市规划区 66 km²)。该区地处闽西丘陵地带, 全区东西窄, 南北长, 呈棱形。地势由西北向东南倾斜, 四面环山, 属戴云山支脉的博平岭山脉, 九龙江北溪支流的雁石溪和万安溪呈“Y”字形贯穿全境。土壤类型以红壤分布最大, 其次是黄壤。气候类型属低纬度亚热带海洋性季风气候, 夏长冬短, 春夏湿润多雨。年平均气温 16~20 ℃, 日照时数 1804~2060 h, 年平均降水量 1500~1900 mm, 区域多年平均蒸发量为 1706 mm, 多年平均相对湿度为 25.7%, 平均无霜期 291 d。

1.2 方法

1.2.1 实地调查与资料收集 2023 年 6 月对龙岩市新罗区的 8 个中心街道和 3 个乡（镇）的外来入侵植物进行全面调查，调查范围主要包括城市公园绿地、广场用地、防护绿地、附属绿地以及区域绿地。每个调查区选取林下、河岸及路边 3 种生境，随机设置样地进行调查。采用样方法，共设置 96 个样地（图 1）进行城市绿地外来入侵植物的标准样地调查（10 m×10 m），记录样方内所有的乔木、灌木和草本植物种类、株数、盖度、均高、频度、生境特征等参与评估的指标。灌木选用 5 m×5 m 的样方；在每个调查样地的四角和中心处选用 5 个 1 m×1 m 草本样方进行调查。在实地调查的基础上，主要依据《中国外来入侵生物》^[11]、《中国外来入侵植物名录》^[12]、《中国植物志》^[13]和《重点管理外来入侵物种名录》^[14]统计分析新罗区城市绿地外来入侵植物生活型、原产地、入侵途径等重要信息。

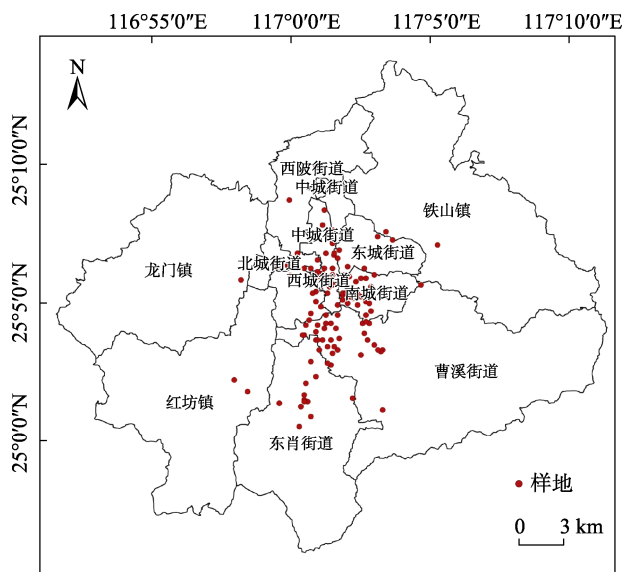


图 1 新罗区城市绿地外来入侵植物调查样方分布
Fig. 1 Distribution of survey quadrats of invasive alien plants in urban green space of Xinluo district

1.2.2 外来入侵植物风险评估 本体系从 DPSIR 模型中发现一种更为清晰的研究思路，即外来入侵植物在生物学特性驱动下如何在入侵地扎根？同时在入侵地环境压力下会呈现出怎样的状态？随后会造成怎样的危害？最后有关部门对此提出怎样的防控措施？在此基础上，根据实地调查的外来入侵植物生长、繁殖特征以及对生境的影响，参考吴艳霞等^[15]的研究方法和指标，确定了 5 个

最为常用的一级指标并结合新罗区实地情况，将一级指标分解为 15 个二级指标，也增设了“对园林景观的影响”“对人畜健康的影响”等更能反映研究区域特征的评估指标。在完成调查的基础上，参考魏子璐等^[16]的评价方法，采用层次分析法（AHP）对各级指标进行两两比较，构建比较矩阵，计算得到层次指标权重值。通过比较矩阵数值的计算，一级指标驱动力、压力、状态、影响、响应的权重分别为 0.29、0.16、0.29、0.16、0.09；二级指标使用相同的计算方法。对构建的比较矩阵进行一致性检验，确保评价体系的合理性。如果检验结果不满足一致性要求，即随机一致性比率（CR）>0.1，则需要重新调整比较矩阵直到满足一致性要求。设定风险评估体系总分为 100 分，按照各层级指标权重分配，进而赋予各评估指标相应的量化分值（表 1）。通过对三级指标的得分进行汇总，计算得出每种外来入侵植物的总风险值。最终，根据所得风险值（R）的大小将外来入侵植物划分为 3 个风险等级：I 类， $R \geq 35$ ，为高风险；II 类， $25 \leq R < 35$ ，为中风险；III 类， $R < 25$ ，为低风险。

2 结果与分析

2.1 新罗区城市绿地外来入侵植物物种组成

通过调查统计新罗区城市绿地外来入侵植物，结果显示，共有外来入侵植物 65 种，隶属 22 科 52 属。从各科所含的种数来看，数量最多的为菊科（Asteroideae），有 19 种，占总种数的 29.23%；其次为苋科（Amaranthaceae），有 8 种，占总种数的 12.31%；大戟科（Euphorbiaceae）共 6 种，占总种数的 9.23%；豆科（Leguminosae）共有 4 种，占总种数的 6.15%。禾本科（Gramineae）、茄科（Solanaceae）、十字花科（Brassicaceae）以及旋花科（Convolvulaceae）均有 3 种，分别占总种数的 4.62%；只有 1 种的有唇形科（Lamiaceae）、落葵科（Basellaceae）、牻牛儿苗科（Geraniaceae）、马鞭草科（Verbenaceae）、酢浆草科（Oxalidaceae）等（图 2）。

2.2 新罗区城市绿地外来入侵植物生活型

新罗区城市绿地外来入侵植物的生活型共有 5 种，分别为一年生草本、二年生草本、多年生草本、灌木和乔木。一年生草本植物共有 32 种，所占比例为 49.23%；二年生草本有 7 种，所占比例为 10.77%；多年生草本有 21 种，占总数的

表 1 新罗区城市绿地外来入侵植物风险评估体系

Tab. 1 Risk assessment system of alien invasive plants in urban green space of Xinluo district

一级指标（分值） Primary indicator (score)		二级指标（分值） Secondary indicator (score)	三级指标（分值） Tertiary indicator (score)
驱动力（D）	B ₁ 外来入侵植物入侵的驱动力（29）	生活型（7）	灌木（3）
			亚灌木状草本（2）
			多年生草本（1）
		花期（4）	一年生、二年生草本（1）
			草质藤本（0）
			长花期（>8 个月）（2）
		繁殖方式（7）	中花期（4~8 个月）（1）
			短花期（<4 个月）（1）
			种子繁殖与营养繁殖兼具（3）
		种子繁殖力（3）	种子繁殖（2）
营养繁殖（2）			
种子量大且易萌发（2）			
压力（P）	B ₂ 外来入侵植物对本地环境的适应性（16）	抗逆性（对滑坡、泥石流、水涝等逆境的适应能力）（8）	种子量一般且易萌发（1）
			种子量少，或不易萌发（0）
			人为有意引入可能性大（2）
		气候适宜度（4）	自然扩散传入可能性大（2）
			种子可远距离自然传播（3）
			种子近距离自然传播（1）
		土壤环境适宜度（4）	能适应多数逆境（5）
			能适应少数逆境（2）
			不能适应此类逆境（1）
		状态（S）	B ₃ 外来入侵植物在本地的分布情况（29）
不太能适宜生长（1）			
能适宜生长（3）			
分布的生境类型（路边荒地、房前屋后、花园草坪、林下林缘、河边绿地）（16）	不太能适宜生长（1）		
	极其常见（4）		
	常见（2）		
重要值（6）	局部形成种群（1）		
	未形成种群（0）		
	分布于 4~5 种生境（8）		
影响（I）	B ₄ 外来入侵植物对本地造成的影响（17）		
		分布于 1 种生境，或常见于栽培（3）	
		重要值≥10（3）	
		对园林景观的影响（9）	7≤重要值<10（1.5）
			4≤重要值<7（1）
			1≤重要值<4（0.5）
		对人畜健康的影响（4）	重要值<1（0）
			产生抑制作用（4）
			不产生抑制作用（0）
		响应（R）	B ₅ 响应措施（9）
有影响，但造成危害不大（3）			
无明显影响（0）			
具有有效防治措施，短期效果明显，容易复发（3）	具有一定危害（4）		
	具有有效防治措施，可一次长期清除入侵植物（2）		
	具有药用、饲用、食用、观赏等价值，未采用防治措施（0）		

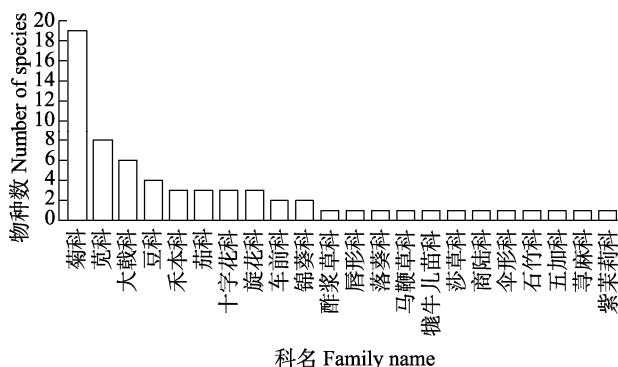


图 2 新罗区城市绿地外来入侵植物科所含物种数

Fig. 2 Species composition of invasive plant families in urban green spaces of Xinluo district

32.31%；灌木有 4 种，所占比例为 6.15%；乔木仅 1 种，所占比例为 1.54%。

2.3 新罗区城市绿地外来入侵植物原产地

新罗区城市绿地外来入侵植物主要源自美洲，少数种源自欧洲、非洲和亚洲。美洲有 48 种，占新罗区城市绿地外来入侵植物总种数的 73.85%；其次是欧洲，有 8 种，占总种数的 12.31%；非洲有 5 种，占总种数的 7.69%；亚洲有 4 种，占总种数的 6.15%。

2.4 新罗区城市绿地入侵途径

分布在新罗区的外来入侵物种主要通过“无意引入”“有意引入”和“自然扩散”3 种途径进入中国境内^[17]。在 65 种外来入侵植物中，无意引入的植物最多，共 35 种，占总种数的 53.85%；其次是有意引入，共 26 种，占总种数的 40.00%；自然扩散的较少，仅 4 种，占总种数的 6.15%。外来植物在入侵新罗区过程中，人为因素导致的高达 61 种，占总种数的 93.85%。可见，人类有意或无意的干扰活动，是导致新罗区城市绿地外来植物入侵的最主要原因。

2.5 新罗区城市绿地外来入侵植物风险等级划分

采用构建好的风险评估体系，对新罗区城市绿地 65 种外来入侵植物进行风险评估，评估结果如表 2。结果显示，新罗区城市绿地白花鬼针草 (*Bidens alba*) 风险值 (R) 最高，达到了 52.0 分。根据评价结果，可将该区城市绿地 65 种外来入侵植物的风险评估结果划分为 3 个等级。I 级（高风险）， $R \geq 35$ ，共 16 种，这些种类多数分布广泛，已侵入当地的多种生态系统；II 级（中风险）， $25 \leq R < 35$ ，共 18 种，在该区城市绿地局部分布，对生态系统造成了一定程度的负面影响，

并且存在潜在的危害性；III 级（低风险）， $R < 25$ ，共 31 种，在该区城市绿地分布范围较小，目前还未对周边的生态环境和社会经济造成危害，但不能确定未来的发展趋势。

3 讨论

新罗区城市绿地外来入侵植物种类达 65 种，其中危害范围大、危害程度较为严重的入侵植物有 4 种，分别为白花鬼针草 (*Bidens alba*)、小蓬草 (*Erigeron canadensis*)、苏门白酒草 (*Erigeron sumatrensis*) 和红花酢浆草 (*Oxalis corymbosa*)。

白花鬼针草具有强烈的化感作用，其种子具有很强的繁殖能力，容易形成大面积单一种群，严重威胁乡土植物的生存^[18]。如发生大面积生长，需在盛花期利用人工拔除和化学农药喷洒相结合进行防治；小蓬草可产生大量瘦果，具有较强的表型和基因可塑性来适应新的生长环境，是多食性害虫的中间宿主，应及时铲除或治理^[19]；苏门白酒草的扩散方式和危害性与小蓬草类似，但其入侵性更强，对城市及公路沿线的绿化带景观造成摧毁性破坏，需及时喷洒除草剂杀灭^[20]；红花酢浆草是一种用于园林绿化极佳的地被植物，但其繁殖速度快，适应性、抗逆性、再生能力强，对景观效果产生负面影响，已被认为世界恶性杂草之一，应谨慎引种并加强栽种区管理^[21]。

新罗区城市绿地入侵植物生活型单一，主要为草本植物。一年生和二年生草本植物占比最高，以菊科种数最多，这与厦门市^[22]和三明市^[23]乃至全国的^[24]外来入侵植物的研究结果一致。这可能由于菊科植物多数生命周期短，繁殖能力强，种子产量大，一旦被引入新环境，就能够迅速建立种群，扩张领地^[25]；多年生草本植物的占比仅次于一年生和二年生草本植物，如南欧大戟 (*Euphorbia peplus*)、飞扬草 (*Euphorbia hirta*) 等一些大戟科植物在福建分布较广、经济价值较高，多数种具有药用价值，但也含毒性^[26]，这些物种能够通过分根、匍匐茎等无性繁殖方式进行快速繁殖，这些特性使得它们能够在新环境中快速建立种群，从而短时间内形成稳定且难以控制的入侵植物。建议对刚入侵且分布较集中的区域，可以通过人工拔除、割除或挖掘根茎等方式清除植株，必要时选择针对性强、对环境影响较小的除草剂，在入侵植物生长的关键时期（如萌发期、苗期）进行喷洒处理。

表 2 新罗区城市绿地外来入侵植物风险评估结果

Tab. 2 Risk assessment results of alien invasive plants in urban green space of Xinluo district

序号 No.	物种 Species	R	风险等级 Risk grade	序号 No.	物种 Species	R	风险等级 Risk grade
1	白花鬼针草 <i>Bidens alba</i>	52.0	I	34	西洋蒲公英 <i>Taraxacum officinale</i>	25.0	II
2	小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>	46.5	I	35	匍匐大戟 <i>Euphorbia prostrata</i>	24.5	III
3	苏门白酒草 <i>Erigeron sumatrensis</i>	43.5	I	36	三裂叶薯 <i>Ipomoea triloba</i>	24.5	III
4	红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>	42.0	I	37	野老鹳草 <i>Geranium carolinianum</i>	24.5	III
5	藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	41.5	I	38	小叶冷水花 <i>Pilea microphylla</i>	24.5	III
6	喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	41.5	I	39	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	23.5	III
7	银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	40.5	I	40	臭芥 <i>Lepidium didymum</i>	23.5	III
8	假臭草 <i>Praxelis clematidea</i>	39.5	I	41	细叶旱芹 <i>Cyclospermum leptophyllum</i>	23.5	III
9	豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i>	39.5	I	42	通奶草 <i>Euphorbia hypericifolia</i>	22.5	III
10	牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	38.5	I	43	田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	22.0	III
11	大狼把草 <i>Bidens frondosa</i>	37.5	I	44	紫茉莉 <i>Mirabilis jalapa</i>	21.5	III
12	赛葵 <i>Malvastrum coromandelianum</i>	37.5	I	45	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	21.0	III
13	蓖麻 <i>Ricinus communis</i>	36.5	I	46	凹头苋 <i>Amaranthus blitum</i>	21.0	III
14	南美蟛蜞菊 <i>Sphagneticola trilobata</i>	35.5	I	47	风车草 <i>Cyperus involucratus</i>	21.0	III
15	少花龙葵 <i>Solanum americanum</i>	35.5	I	48	银胶菊 <i>Parthenium hysterophorus</i>	20.5	III
16	垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i>	35.5	I	49	青葙 <i>Celosia argentea</i>	20.5	III
17	马缨丹 <i>Lantana camara</i>	33.5	II	50	喀西茄 <i>Solanum aculeatissimum</i>	20.5	III
18	钻叶紫菀 <i>Symphyotrichum subulatum</i>	32.5	II	51	小藜 <i>Chenopodium ficifolium</i>	20.0	III
19	光荚含羞草 <i>Mimosa bimucronata</i>	32.5	II	52	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	20.0	III
20	金灯藤 <i>Cuscuta japonica</i>	32.5	II	53	绿穗苋 <i>Amaranthus hybridus</i>	20.0	III
21	五爪金龙 <i>Ipomoea cairica</i>	31.5	II	54	铺地黍 <i>Panicum repens</i>	20.0	III
22	野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	30.5	II	55	象草 <i>Pennisetum purpureum</i>	20.0	III
23	阿拉伯婆婆纳 <i>Veronica persica</i>	30.5	II	56	丝毛雀稗 <i>Paspalum urvillei</i>	20.0	III
24	猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i>	30.0	II	57	苦蕒 <i>Physalis angulata</i>	20.0	III
25	裸柱菊 <i>Soliva anthemifolia</i>	29.5	II	58	芥 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	20.0	III
26	刺苋 <i>Amaranthus spinosus</i>	29.5	II	59	白苞猩猩草 <i>Euphorbia heterophylla</i>	19.5	III
27	飞扬草 <i>Euphorbia hirta</i>	29.5	II	60	蚊母草 <i>Veronica peregrina</i>	19.5	III
28	南欧大戟 <i>Euphorbia peplus</i>	29.5	II	61	黄花稔 <i>Sida szechuensis</i>	19.5	III
29	北美独行菜 <i>Lepidium virginicum</i>	29.5	II	62	飞机草 <i>Chromolaena odorata</i>	19.0	III
30	薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>	29.0	II	63	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i>	18.5	III
31	落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i>	26.5	II	64	田野水苏 <i>Stachys arvensis</i>	18.0	III
32	鹅肠菜 <i>Stellaria aquatica</i>	26.5	II	65	南美天胡荽 <i>Hydrocotyle verticillata</i>	15.0	III
33	土荆芥 <i>Dysphania ambrosioides</i>	25.5	II				

分析新罗区外来入侵植物的原产地发现，该区原产于美洲的外来入侵植物最多，高达73.85%，该现象与中国外来物种的总体传入来源一致^[17]。主要原因是美洲南美大陆丰富的植物多样性，诸多物种具备较强的生态可塑性和广泛的生态适应性^[27]，这些物种能够借助城市化进程中的南方城市作为潜在的生态入侵通道，通过初期对新环境的适应阶段后，逐步实现入侵；在北美大陆，随着全球气候变暖现象的持续发展，亚热

带气候带的北界逐渐向北迁移导致热带植物生长区域的相应北移^[28]，具有高度适应性和扩散能力的外来植物种类很可能在这一生态变化过程中占据先机；由于北美地区与中国在纬度上的相似性，起源于北美的植物种类能较好适应中国自然环境条件^[29]，从而为它们在中国的生态入侵和扩散提供了潜在的优势。由于新罗区多数入侵植物源自美洲，今后需谨慎选择引进美洲植物品种。

外来植物在入侵新罗区过程中，人为因素导

致的物种高达 61 种, 占总种数的 93.85%, 自然扩散的较少, 仅 4 种, 占总种数的 6.15%。本研究实地调查所记录的外来入侵植物种类主要归因于人类活动, 尤其是因环境绿化、药用价值、生态修复以及饲料生产等目的而进行的有意识引入。例如, 马缨丹 (*Lantana camara*)、南美蟛蜞菊 (*Sphagneticola trilobata*) 等因美化环境而被引入^[30-31]; 垂序商陆 (*Phytolacca americana*)、蓖麻 (*Ricinus communis*) 等则由于其药用价值而得到引入^[32-33]; 喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 原本作为生态修复或经济效益考虑而进行移植^[34]。在人为创造的有利环境下, 这些外来植物往往能够在缺乏原有生态竞争压力下高效定殖并迅速扩增种群规模。然而, 由于管理和监控措施不到位, 此类植物易逸出原生生长区域, 进而侵占新的生态位, 演变为入侵物种。

许多国家已建立了多种外来植物入侵风险评价体系, 如典型的澳大利亚杂草风险评价体系 (WRA), 该评价系统是由物种生物地理、物种不受欢迎的特征、生物学或生态学特征等方面的一系列问题库构成的^[35]。中欧地区的评估非本地植物入侵潜力的等级体系 (WG-WRA), 该体系根据生物地理、生态和经验等方面对物种进行评分^[36]。而 DPSIR 模型是一个广泛应用于环境风险评估的整体工具, 包括外来入侵植物风险评估。它的主要优点是提供了一个全面的框架, 涵盖了从驱动因素到管理响应的整个过程, 适用于多种环境问题和利益相关者沟通。然而, 与前面 2 种入侵植物风险评估方法相比, DPSIR 模型缺乏更详细的风险预测或量化, 对某些场景缺乏特异性, 可能会限制其评估特定入侵物种的准确性。在应用 DPSIR 模型时, 重要的是要确保该框架适应特定的环境背景, 并考虑将其与更有针对性的评估工具相结合。此外, 应注意 DPSIR 模型指标的选择和解释, 以避免复杂生态的相互作用过于简单化。

高风险入侵植物 (I 级) 具有广泛的分布、强烈的生态适应能力、快速的繁殖特性和显著的化感作用, 它们已侵入多种生态系统并对生物多样性和本地植物造成显著抑制。例如, 白花鬼针草和小蓬草在新罗区表现出高度的入侵性, 对生态环境构成严重威胁。中风险 (II 级) 入侵植物在城市绿地局部分布, 相比高风险植物, 它们的生态适应性和扩散能力较低, 但这些植物能在特定条件下迅速繁殖并对生态环境产生影响。例如,

刺苋 (*Amaranthus spinosus*) 的根系结构强大, 能够破坏土壤结构, 影响土壤肥力, 加剧生态退化^[37]; 阿拉伯婆婆纳 (*Veronica persica*) 作为一种田间杂草, 其根系能与作物根系竞争并且能成为多种根部病原菌的寄主, 这些病原菌通过它传播到其他作物上, 对农业生产构成威胁^[38]。低风险 (III 级) 入侵植物则在该区域的分布范围较小, 对周边地区的生态环境造成的破坏有限或近无。然而, 这并不意味着可以忽视这些植物, 因为它们可能在环境条件变化或人为干扰下转变为更高风险等级的入侵者。例如, 银胶菊 (*Parthenium hysterophorus*) 具有毒性, 能产生大量的种子, 对其他植物有较强的化感作用, 其植株或花粉能抑制其他作物结果^[39]; 飞机草 (*Chromolaena odorata*) 的生长繁殖快速, 可通过改变土壤的物理和化学性质, 创造对自身有利的土壤环境, 已成为全球危害最严重的前 100 种入侵生物之一^[40]。

4 结论

龙岩市新罗区城市绿地外来入侵植物共有 65 种, 隶属 22 科 52 属, 基本属于草本植物, 主要集中在菊科、苋科、大戟科和豆科, 其中菊科植物种数最多, 有 19 种。大部分入侵植物生活型多为一年生草本, 主要来自美洲, 大部分通过人为活动无意引入和园林栽培有意引入。本研究从外来入侵植物的驱动力、压力、状态、影响、响应等方面出发, 运用 DPSIR 模型建立新罗区城市绿地风险评估体系。利用层次分析法对各级指标进行计算并进行风险等级划分, 结果显示新罗区城市绿地高风险 (I 级) 入侵植物有 16 种, 中风险 (II 级) 入侵植物得分有 18 种, 低风险 (III 级) 入侵植物有 31 种。龙岩市新罗区城市绿地入侵物种数量较多, 但以低风险植物为主, 总体上入侵灾害等级较低。

参考文献

- [1] KATSANEVAKIS S, WALLENTINUS I, ZENETOS A, LEPPÄKOSKI E, CARDOSO A C. Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: a pan-European review[J]. Aquatic Invasions, 2014, 9(4): 391-423.
- [2] 束承继, 蔡文博, 杜凯伟, 江南, 林立, 李先源. 深圳市入侵植物区系与风险分布[J]. 生态学报, 2023, 43(3): 1113-1125.
- SHU C J, CAI W B, DU K W, JIANG N, LIN L, LI X Y.

- Study on the flora and risk distribution of dominant invasive plants in Shenzhen[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(3): 1113-1125. (in Chinese)
- [3] 赵紫华, 苏敏, 李志红, 惠苍. 外来物种入侵生态学[J]. *植物保护学报*, 2019, 46(1): 1-5.
- ZHAO Z H, SU M, LI Z H, HUI C. Invasion ecology of alien species[J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46(1): 1-5. (in Chinese)
- [4] 杜素洁, 郭建洋, 赵浩翔, 万方浩, 刘万学. 近十年我国入侵生物预防与监控研究[J]. *植物保护*, 2023, 49(5): 410-418, 440.
- DU S J, GUO J Y, ZHAO H X, WAN F H, LIU W X. Research progresses on management of invasive alien species in China[J]. *Plant Protection*, 2023, 49(5): 410-418, 440. (in Chinese)
- [5] 潘绪斌, 王聪, 严进, 朱水芳. 经济全球化与气候变化对生物入侵的影响浅析[J]. *中国植保导刊*, 2018, 38(4): 65-69, 33.
- PAN X B, WANG C, YAN J, ZHU S F. Impacts of economic globalization and climate change on biological invasion[J]. *China Plant Protection*, 2018, 38(4): 65-69, 33. (in Chinese)
- [6] BARBARA T, KATARZYNA B, ZYGMUNT D, KAROLINA M, WOJCIECH S. Invasive alien plants in Poland: the state of research and the use of the results in practice[J]. *Environmental & Socio-economic Studies*, 2021, 9(4): 71-95.
- [7] 程文磊, 吴甜, 夏体渊, 孟德玉, 梁梓煜, 殷根深. 山东省外来入侵植物区系分析[J]. *植物检疫*, 2023, 37(4): 13-22.
- CHENG W L, WU T, XIA T Y, MENG D Y, LIANG Z Y, YIN G S. Floristic analysis of alien invasive plants in Shandong province[J]. *Plant Quarantine*, 2023, 37(4): 13-22. (in Chinese)
- [8] 宋佳琳, 王慧, 刘红梅, 张飞雪, 张海芳, 杨殿林, 赵建宁. 保定市清苑区外来入侵植物及其入侵风险评估[J]. *农业资源与环境学报*, 2023, 40(2): 314-323.
- SONG J L, WANG H, LIU H M, ZHANG F X, ZHANG H F, YANG D L, ZHAO J N. Invasive plants and their risk assessment in Qingyuan district, Baoding city[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(2): 314-323. (in Chinese)
- [9] Organization for Economic Cooperation and Development. OECD core set of indicators for environmental performance review[M]. Paris: OECD, 1993: 31-34.
- [10] SAATY T L, KEARNS K P. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill Co., 1985: 19-62.
- [11] 徐海根, 强胜. 中国外来入侵生物[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- XU H G, QIANG S. Invasive alien species in China[M]. Beijing: Science Press, 2018. (in Chinese)
- [12] 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.
- MA J S, LI H R. List of invasive alien plants in China[M]. Beijing: Higher Education Press, 2018. (in Chinese)
- [13] 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.
- Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. *Flora of China*[M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)
- [14] 农业农村部. 重点管理外来入侵物种名录[EB/OL]. (2022-11-09)[2024-07-25]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202211/t20221109_6415160.htm.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Key management list of invasive alien species[EB/OL]. (2022-11-09)[2024-07-25]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202211/t20221109_6415160.htm. (in Chinese)
- [15] 吴艳霞, 魏志斌, 王爱琼. 基于 DPSIR 模型的黄河流域生态安全评价及影响因素研究[J]. *水土保持通报*, 2022, 42(6): 322-331.
- WU Y X, WEI Z B, WANG A Q. Ecological safety evaluation and influencing factors of Yellow River basin based on DPSIR model[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2022, 42(6): 322-331. (in Chinese)
- [16] 魏子璐, 朱峻熠, 潘晨航, 王义英, 胡沁沁, 周颖, 金水虎. 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 Z L, ZHU J Y, PAN C H, WANG Y Y, HU Q Q, ZHOU Y, JIN S H. Investigation and risk assessment of alien invasive plants in Ningbo, Zhejiang province[J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2021, 38(3): 552-559. (in Chinese)
- [17] 徐海根, 强胜, 韩正敏, 郭建英, 黄宗国. 中国外来入侵物种的分布与传入路径分析[J]. *生物多样性*, 2004, 12(6): 626-638.
- XU H G, QIANG S, HAN Z M, GUO J Y, HUANG Z G. The distribution and introduction pathway of alien invasive species in China[J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(6): 626-638. (in Chinese)
- [18] 罗娅婷, 王泽明, 崔现亮, 赵利坤, 王桔红, 罗银玲. 白花鬼针草的繁殖特性及入侵性[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(3): 655-662.
- LUO Y T, WANG Z M, CUI X L, ZHAO L K, WANG J H, LUO Y L. The reproductive traits and invasiveness of *Bidens pilosa* var. *radiata*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(3): 655-662. (in Chinese)
- [19] 樊晓泽, 刘倩宇, 崔美香. 外来入侵植物小蓬草发生现状

- 及防治方法研究综述[J]. 智慧农业导刊, 2024, 4(3): 26-29.
- FAN X Z, LIU Q Y, CUI M X. A review of the occurrence status and control methods of the invasive alien plant *Erigeron canadensis*[J]. Journal of Smart Agriculture, 2024, 4(3): 26-29. (in Chinese)
- [20] 王岑, 党海山, 谭淑端, 张全发. 三峡库区苏门白酒草 (*Conyza sumatrensis*) 化感作用与入侵性研究[J]. 武汉植物学研究, 2010, 28(1): 90-98.
- WANG C, DANG H S, TAN S D, ZHANG Q F. Study on allelopathy and invasiveness of *Conyza sumatrensis* in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2010, 28(1): 90-98. (in Chinese)
- [21] 江贵波, 林理强, 吴伟珊, 林凯城, 林壮森, 刘淑媛. 入侵植物红花酢浆草对 3 种杂草的化感作用[J]. 广东农业科学, 2014, 41(23): 74-77.
- JIANG G B, LIN L Q, WU W S, LIN K C, LIN Z S, LIU S Y. Allelopathy of invasive plant *Oxalis corymbosa* DC on three weeds[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(23): 74-77. (in Chinese)
- [22] 欧健, 卢昌义. 厦门市外来物种入侵现状及其风险评价指标体系[J]. 生态学杂志, 2006, 25(10): 1240-1244.
- OU J, LU C Y. Present situation of alien plants invasion and its risk assessment system in Xiamen city[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(10): 1240-1244. (in Chinese)
- [23] 王颖光. 三明三元区城市绿地外来入侵植物调查研究[J]. 西南林业大学学报(社会科学), 2024, 8(2): 88-92.
- WANG Y G. Investigation and research on exotic invasive plants in urban green spaces in Sanyuan district, Sanming[J]. Journal of Southwest Forestry University (Social Sciences), 2024, 8(4): 88-92. (in Chinese)
- [24] 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]. 南京农业大学学报, 2022, 45(5): 957-980.
- QIANG S, ZHANG H. Invasion and management of alien plants in agroecosystems in China[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2022, 45(5): 957-980. (in Chinese)
- [25] 王亚, 王玮倩, 王钦克, 李晓霞, 刘延, 黄乔乔. 土壤养分对菊科一年生入侵种和本地种繁殖性状的影响[J]. 生物多样性, 2021, 29(1): 1-9.
- WANG Y, WANG W Q, WANG Q K, LI X X, LIU Y, HUANG Q Q. Effects of soil nutrients on reproductive traits of invasive and native annual Asteraceae plants[J]. Biodiversity Science, 2021, 29(1): 1-9. (in Chinese)
- [26] 黄秀珍, 邹秀红. 福建泉州大戟科药用植物的分布及利用状况[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(12): 115-120.
- HUANG X Z, ZHOU X H. Distribution and utilization of Euphorbiaceae medicinal plants in Quanzhou, Fujian province[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2019, 47(12): 115-120. (in Chinese)
- [27] 王利松, 黄宏文. 影响世界的南美植物[J]. 人与生物圈, 2022(增刊 1): 6-15.
- WANG L S, HUANG H W. South American plants that influence the world[J]. Man and the Biosphere, 2022(Suppl. 1): 6-15. (in Chinese)
- [28] 缪启龙, 丁园圆, 王勇. 气候变暖对中国亚热带北界位置的影响[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 634-642.
- MIAO Q L, DING Y Y, WANG Y. Impact of climate warming on the northern boundary of sub-tropical zone of China[J]. Geographical Research, 2009, 28(3): 634-642. (in Chinese)
- [29] 杜有新, 张青松, 庞宏东, 桂忠民, 刘洁, 王蔓滢, 蔡浔峰. 东亚-北美间断分布植物的早期适应性[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 990-995.
- DU Y X, ZHANG Q S, PANG H D, GUI Z M, LIU J, WANG M Y, CAI X F. Early adaptability of Eastern Asian and Northern American disjunction distribution species[J]. Ecology And Environment, 2009, 18(3): 990-995. (in Chinese)
- [30] 吴彦琼, 胡玉佳, 陈江宁. 外来植物南美蟛蜞菊的繁殖特性[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2005, 44(6): 93-96.
- WU Y Q, HU Y J, CHEN J N. Reproductive characteristics of alien plant *Wedelia trilobata*[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2005, 44(6): 93-96. (in Chinese)
- [31] 潘红丽, 李慧超, 余志祥, 蔡蕾, 李旭华, 刘兴良. 攀枝花市入侵植物马缨丹群落的物种组成与多样性研究[J]. 生态环境学报, 2021, 30(6): 1177-1182.
- PAN H L, LI H C, YU Z X, CAI L, LI X H, LIU X L. Plant composition and diversity of invasive communities of *Lantana camara* in Panzhihua city[J]. Ecology and Environment Sciences, 2021, 30(6): 1177-1182. (in Chinese)
- [32] 王鹏程, 王秋红, 赵珊, 孙雪, 匡海学. 商陆化学成分及药理作用和临床应用研究进展[J]. 中草药, 2014, 45(18): 2722-2731.
- WANG P C, WANG Q H, ZHAO S, SUN X, KUANG H X. Research progress on chemical constituents, pharmacological effects, and clinical applications of *Phytolacca acinose*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2014, 45(18): 2722-2731. (in Chinese)
- [33] 李平, 冯紫洲, 张继星, 陈永胜, 王云, 刘海臣, 冀照君, 穆莎茉莉, 霍红雁. 蓖麻根的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(21): 12-14.
- LI P, FENG Z Z, ZHANG J X, CHEN Y S, WANG Y, LIU H C, JI Z J, MU S M L, HUO H Y. Research progress of castor root[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(21): 12-14. (in Chinese)
- [34] 邱霖萱, 杨颖, 成梦洁, 余子义, 叶雨彤. 基于克隆植物

- 生理整合特性的铅污染土壤修复——以喜旱莲子草为例[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(9): 140-142.
- QIU L X, YANG Y, CHENG M J, YU Z Y, YE Y T. Remediation of lead contaminated soil based on physiological integration characteristics of cloned plants: taking *Alternanthera philoxeroides* as an example[J]. China Resources Comprehensive Utilization. 2023, 41(9): 140-142. (in Chinese)
- [35] PHELOUNG P C, WILLIAMS P A, HALLOY S R. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions[J]. Journal of Environmental Management, 1999, 57(4): 239-251.
- [36] ANDREU J, VILÀ M. Risk analysis of potential invasive plants in Spain[J]. Journal for Nature Conservation, 2009, 18(1): 34-44.
- [37] 吕玉峰, 付岚, 张劲林, 边勇, 刘若思. 苋属入侵植物在北京的分布状况及风险评估[J]. 北京农学院学报, 2015, 30(2): 20-23.
- LYU Y F, FU L, ZHANG J L, BIAN Y, LIU R S. Distribution and risk assessment of *Amaranthus* invasive plants in Beijing[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2015, 30(2): 20-23. (in Chinese)
- [38] 谢翠容, 汤林彬, 刘茗枫, 戴璨. 波斯婆婆纳的繁殖能力及其入侵原因探析[J]. 生态环境学报, 2016, 25(5): 795-800.
- XIE C R, TANG L B, LIU M F, DAI C. The reproductive capacity of *Veronica persica* and implications for its worldwide invasion[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(5): 795-800.
- [39] 曾东强, 韦家书, 张国良, 周国辉. 外来入侵植物银胶菊的生物学特性[J]. 广西农业生物科学, 2008, 27(3): 261-265.
- ZENG D Q, WEI J S, ZHANG G L, ZHOU G H. Biological characteristics of alien invasive plant *Parthenium hysterophorus* L.[J]. Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science, 2008, 27(3): 261-265. (in Chinese)
- [40] 余香琴, 冯玉龙, 李巧明. 外来入侵植物飞机草的研究进展与展望[J]. 植物生态学报, 2010, 34(5): 591-600.
- YU X Q, FENG Y L, LI Q M. Review of research advances and prospects of invasive *Chromolaena odorata*[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(5): 591-600. (in Chinese)