

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2022.01.007

南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险评价

王南媛, 潘曲波*, 郑成洁, 王江
西南林业大学园林园艺学院, 云南 昆明 650224

摘要:【目的】通过构建南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险评价体系,推进外来园林植物的有效判定、有利运用和有别管控,探讨国家湿地公园前期建设中存在外来植物科学防控问题,为各类生态湿地公园的建设和发展提供参考。【方法】对南滇池国家湿地公园园林植物物种组成和外来植物入侵现状进行全面普查,通过文献研究和专家咨询,构建南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险评价体系,采用层次分析法确定评价指标权重、植物入侵风险值、风险等级并提出管控建议。【结果】(1)该评价体系设立3个一级指标(指标权重分别为70%、10%和20%)、11个二级指标和39个三级指标。(2)南滇池国家湿地公园共有植物188种,其中外来园林植物57种,占公园植物总种数的30.3%;外来园林植物中,高风险、中风险和低风险植物分别为8、20、29种,分别占外来园林植物总种数的14.0%、35.1%和50.9%。【结论】南滇池国家湿地公园外来园林植物种类多、范围广、危害程度不一。对高风险植物,建议实施阶段性清除并用乡土植物替换;对中风险植物,建议加强防治并长期密集监控;对低风险植物,建议保留原有生态位并进行监控和管理。

关键词: 南滇池国家湿地公园; 生态湿地; 园林植物; 外来植物; 生态风险评价



开放科学标识码
(OSID 码)

Ecological risk assessment of exotic garden plants in South Dianchi National Wetland Park

WANG Nanyuan, PAN Qubo*, ZHENG Chengjie, WANG Jiang

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

Abstract:【Aim】We developed an ecological risk assessment system for exotic garden plants, promoting effective judgment, beneficial usage, and differentiated management and control of these species. We used this system in the early construction of the national wetland park and provided references for future development of other ecological wetland parks.【Method】A comprehensive survey was conducted on the plant species composition and current situation of exotic plant invasion in South Dianchi National Wetland Park. Through literature research and expert consultation, an ecological risk evaluation system for exotic garden plants in South Dianchi National Wetland Park was developed. The index weight was determined using the analytic hierarchy process, plant risk value was determined after the evaluation, risk level was divided, and management and control suggestions were proposed.【Result】(1) The evaluation system established 3 primary indicators with weights of 70%, 10% and 20%. (2) There were 188 species of plants in South Dianchi National Wetland Park, of which 57 species were exotic, accounting for 30.3% of all plant species in the park; 8, 20, and 29 species were high-, medium-, and low-risk plants, respectively, accounting for 14.0%, 35.1%, and 50.9% of the total number of exotic garden plants, respectively.【Conclusion】Exotic garden plants in South Dianchi National Wetland Park are diverse and extensive, with varying degrees of harm. Phased removal is recommended, and high-risk plants should be replaced with native plants. Enhanced control and long-term intensive monitoring are recommended for medium-risk plants. For low-risk plants, it is suggested to retain the primary ecological niche and conduct monitoring and management.

Key words: South Dianchi National Wetland Park; ecological wetland; garden plants; alien plants; ecological risk assessment

收稿日期(Received): 2021-08-09 接受日期(Accepted): 2021-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760234); 云南省科技厅青年基金(2018FD048)

作者简介: 王南媛, 女, 硕士研究生。研究方向: 风景园林规划与设计。E-mail: 1377125900@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: 16826877@qq.com

外来植物是指由于人类活动或与人类有关的活动使植物重新分布或出现在原来不存在的地区或生态系统中(张璞进等,2019)。园林植物是用于园林绿化的植物。外来园林植物进入新生境后通常会占据一定生态位,使本地植物的分布和生长受到不同程度胁迫(Mealor & Hild,2007)。而外来园林植物因外形、寿命和耐性等优势(许光耀等,2019),能够为城市输出景观、娱乐等生态服务(Mclean *et al.*, 2017)。因此,建立一个具有地域特色的小尺度外来园林植物生态风险评价体系,对外来园林植物进行判别、确定优先防控对象是针对外来植物有效判定、有利运用和有别管控的关键(徐汝梅,2003;杨红和潘曲波,2019)。目前的风险评价体系研究存在区域宽泛(杨春蕾等,2018;赵栋峰,2019;Witta *et al.*, 2020)、针对性不强和适用性不足等情况。

云南晋宁南滇池国家湿地公园于2014年建成,2019年12月通过国家林业和草原局验收,挂牌“国家湿地公园”。由于建设前期开发不合理、前瞻性不足、对植物特性理解匮乏,盲目引进大量外来园林植物(本文中“外来园林植物”指云南以外的植物),忽视了其潜在的威胁。《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)。因此,对该地已存在的外来园林植物进行科学的生态风险评价,划分风险等级并据此提出有针对性的管控建议和措施已迫在眉睫。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南滇池国家湿地公园作为环滇池湖滨闭合生态带的重要组成部分,位于云南省昆明市滇池西南角的晋宁区昆阳街道(102°35'54"—102°40'08"E, 24°39'59"—24°42'17"N),总面积1220 hm²。年平均温度15.0℃,年平均相对湿度73%,湿地率达91.43%,水生植物面积3.8万m²。该地常年西南风,小山地气候特征突出,是昆明唯一的国家湿地公园,也是昆明已建成面积最大的滇池湖滨湿地公园。公园于2014年开始进行岸线生态处理和植被恢复工程,保留原有生态植被,保护滇池湖滨生物多样性(杨红和潘曲波,2021)。

1.2 研究方法

1.2.1 外来园林植物调查方法 将南滇池国家湿地公园划分为7个功能区:入口广场区、亲水休憩

区、滨水景观区、游憩活动区、湿地景观区、科普教育区和生态保育区。2019—2021年对南滇池国家湿地公园7个功能区的植物进行实地全面普查,详细记录植物中文名、生境、海拔、高度和生长势等,查阅《中国外来入侵植物名录》(马金双和李惠茹,2018)、《滇池园林湿地园林植物图鉴》(潘曲波和陶仕珍,2019)、《云南湿地外来入侵植物图鉴》(李嵘,2014),通过植物智(<http://www.iplant.cn/>)和中国外来入侵物种信息系统(<http://www.iplant.cn/ias/protlist>)等电子数据库进行核查,整理得到南滇池国家湿地公园外来园林植物名录。

1.2.2 生态风险评价指标体系的构建 参考顾慧(2014)、张丽和罗建(2019)、刘蕴哲(2019)、谢勇等(2020)、刘可丹等(2020)的评价方法和指标选取,遵循系统性、实用性和科学性相结合的原则,综合考虑陆生植物和水生植物特性,引入风景园林专业特色性指标,运用层次分析法建立南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险评价体系。为保证所得权重值的合理性和正确性,需要在计算权重向量后,对每个矩阵进行一致性检验,计算出判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 、一致性指标和一致性比率。

1.2.3 生态风险评价指标体系的检验 为检验该体系合理性和有效性,选择《中国外来入侵植物名录(2018版)》(马金双和李惠茹,2018)中存在于滇池区域的园林植物30种进行评价,含入侵等级1~4级(1级为恶性入侵种,2级为严重入侵种,3级为局部入侵种,4级为一般入侵种)的植物10种,有待观察种、建议排除种和中国国产种共10种,未被记录入侵植物10种。

1.2.4 风险等级的划分 根据有关外来入侵物种名单(徐海根和强胜,2011),查阅《中国外来入侵植物名录》(马金双和李惠茹,2018)中植物的入侵等级,结合外来植物在中国危害程度及其分布范围等,将57种外来园林植物划分为3个生态风险等级:A为高风险植物,B为中风险植物,C为低风险植物。

2 结果与分析

2.1 植物调查统计

2.1.1 植物物种组成 南滇池国家湿地公园共有植物188种,隶属81科145属。其中:园林植物145种,隶属58科107属;外来园林植物57种,隶属36科51属。外来园林植物中,菊科植物最多(5种),禾本科(4种)和唇形科(4种)植物次之。从

生态习性看,草本植物最多 27 种,占 47.4%,灌木(15 种)和乔木(14 种)次之,分别占 26.3%和24.6%,竹类 1 种,占 1.75%(扫描右侧二维码,查看详情)。



2.1.2 外来园林植物来源

地分析 将来源地按亚洲、欧洲、非洲、北美洲、南美洲和大洋洲六大洲进行统计,大部分入侵种为单一来源地,少量物种为多重来源地(芮振宇等, 2020)。南滇池国家湿地公园外来植物主要来自亚洲,共 24 种,占外来园林植物总种数的 42.11%;其次分别为南美洲 8 种(14.04%)和北美洲 6 种(10.53%);南美洲和北美洲(同时存在)5 种(8.77%);欧洲 5 种(8.77%);大洋洲和非洲各 3 种(5.26%);欧洲和非洲(同时存在)2 种(3.51%);非洲和亚洲(同时存在)1 种(1.75%)。

2.2 构建生态风险评价体系

参考顾慧(2014)在华东地区外来引种陆生植物入侵风险评估体系中指标权重的计算方法,数据经过层次分析法修正后,在南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险的判断矩阵中,一级指标与南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险的最大特征根 $\lambda_{\max} = 3.0299$,一致性指标为 0.0150,一致性比率为 $0.0259 < 0.1$,一致性程度较高;一级指标与各二级指标均有较高的一致性,通过上述一致性检验后可得各级指标权重。汇总专家咨询结果后,得出南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险评价体系(表 1)。

2.3 验证体系

由表 2 可知,入侵等级为 1~4 级的植物相符率为 100%,有待观察种、建议排除种和中国国产种植物相符率为 90%,无入侵记录植物相符率为 90%。说明该评价体系总体较为合理,具一定代表性和可操作性,可为后续划分风险等级提供参考。

2.4 综合评价结果

将 57 种外来园林植物代入生态风险评价体系进行评价,根据指标“评价地自然环境”和“人类活动干扰”的评价得出南滇池国家湿地公园评价得分 18.5 分。评价结果按照评价得分从高到低排列,即入侵风险性从高到低排列(表 3)。

2.5 风险等级划分

根据表 3 的综合评价结果,将 $P \geq 64$ 的植物划

为 A 级高风险外来园林植物,将 $55 < P < 64$ 的植物划为 B 级中风险外来园林植物,将 $P \leq 55$ 的植物划为 C 级低风险外来园林植物,最后统计得到南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险等级。结果(表 4)显示:南滇池国家湿地公园外来园林植物中 A 级高风险植物 8 种,占 57 种外来园林植物总数的 14.0%,隶属 12 科 14 属;B 级中风险植物 20 种,占 57 种外来园林植物总数的 35.1%,隶属 19 科 26 属;C 级低风险植物 29 种,占 57 种外来园林植物总数的 50.9%,隶属 12 科 14 属。

2.6 管控建议

以保护物种多样性、提高生态适应性、利于水质净化、易于成活且维护简便和兼顾景观效果为选种原则,针对南滇池国家湿地公园已存在的外来园林植物提出 4 点建议:一是明晰植物风险等级后,权衡外来园林植物的清除与保留;二是为高风险植物制定计划,实施阶段性清除并以乡土植物进行替换;三是人为控制中风险植物的扩散;四是对低风险植物进行长期监测及预警。同时参考《云南湿地外来入侵植物图鉴》(李嵘,2014),《中国云南乡土园林植物(上)》(欧晓昆等,2015)和《滇池湖滨湿地植物应用推荐名录》(昆明市滇池管理局,2020)对中高风险植物提出具体管控建议。

针对 20 种中风险植物提出管控建议:美丽月见草 *Oenothera speciosa* Nutt.在结果前拔除,夹竹桃 *Nerium oleander* L.在开花前拔除,柳叶马鞭草 *Verberna bonariensis* L.控制于栽培区,纸莎草 *Cyperus papyrus* Linn.、紫叶狼尾草 *Pennisetum × setaceum* 'Rubrum'采用人工拔除,风车草 *Cyperus involucratus* Rottb.需严格管理种植植株,限制随便丢弃,再力花 *Thalia dealbata* Fraser、梭鱼草 *Pontederia cordata* L.、细叶美女樱 *Pontederia cordata* (Spreng.) Cabrera、天蓝鼠尾草 *Salvia uliginosa* Benth.、南非万寿菊 *Dimorphotheca ecklonis* DC.、假烟叶树 *Solanum erianthum* D. Don、美人蕉 *Canna indica* L.和迷迭香 *Salvia rosmarinus* Schleid.加强引种栽培,严格控制新引种区,银荆 *Acacia dealbata* Link 在开花结果前拔除,黄菖蒲 *Iris pseudacorus* Linn.、加柳 *Populus × canadensis* Moench、蒲苇 *Cortaderia selloana* (Schantz.) Aschers. et Graebn.、垂柳 *Salix babylonica* Linn 和龙爪柳 *Salix matsudana* 'Tortuosa' (Vilm.) Rehder 暂不需要防治。

表 1 南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险评价体系
Table 1 Ecological risk assessment system of exotic garden plants in South Dianchi National Wetland Park

一级指标 (权重)	二级指标 (权重)	三级指标 (权重)	评价标准	Evaluation criteria	分值/分
植物生物学特性 Biological characteristics of plants (70%)	环境适应性 Environmental adaptability (10%)	来源地 Origin (3%)	美洲 America 欧洲 Europe 亚洲和其他地区 Asia and other areas		3.0 2.0 1.0
		全球分布情况 Global distribution (3%)	分布区 ≥4 大洲 Distribution area ≥4 continents		3.0
			分布区 2~3 大洲 Distribution area 2~3 continents		2.0
	入侵记录 Intrusion record (8%)	主要自然分布区 Main natural distribution area (4%)	分布区 ≤1 大洲 Distribution area ≤1 continent		1.0
			小区域特有 Specific to small areas		0.5
		国内入侵记录 (3%) Domestic intrusion records (3%)	亚热带、热带、亚热带地区、亚热带、暖温带地区 Subtropical zone, tropical, subtropical regions, subtropical-		4.0
			cal and warm temperate regions		
			热带或温带, 亚热带至温带 Tropical or temperate zones, subtropical to temperate		2.0
			温带至寒带 Temperate to boreal zone		1.0
			是 Yes		3.0
			未知 Unknown		1.5
生物学特性 Characteristics of plants (21%)	入侵记录 Intrusion records abroad (3%) Intrusion records abroad (3%) 国内外同属植物入侵记录 Invasion records of plants of the same genus at home and abroad (2%) 生态习性 Ecological habit (3%)	国外入侵记录 Intrusion records abroad (3%)	否 No		0
			是 Yes		3.0
		国内入侵记录 (3%) Domestic intrusion records (3%)	未知 Unknown		1.5
			是 Yes		3.0
		国内外同属植物入侵记录 Invasion records of plants of the same genus at home and abroad (2%)	未知 Unknown		1.5
			是 Yes		3.0
		生态习性 Ecological habit (3%)	否 No		0
			草本 Herbs		3.0
		适宜的生态类型 Suitable habitat type (3%)	灌木或藤本 Shrubs or vines		1.5
			乔木或竹类 Trees or bamboos		0.5
耐胁迫能力 Stress tolerance (2%)	耐胁迫能力 Stress tolerance (2%)	适宜的生态类型 Suitable habitat type (3%)	≥5 种 ≥5 type 乔木或竹类 Trees or bamboos		3.0
			2~4 种 2~4 types		1.0
		自然条件下的繁殖方式 Reproduction under natural conditions (3%)	仅特定 1 种 Only specific 1 type		0
			无性繁殖兼有性繁殖 Asexual reproduction with sexual reproduction		3.0
		自然条件下的无性繁殖能力 The ability to reproduce asexually under natural conditions	以无性繁殖为主 Mainly asexual reproduction		1.5
			以有性繁殖为主 Mainly sexual reproduction		1.5
		自然条件下的有性繁殖频率 Frequency of sexual reproduction under natural conditions (2%)	大量繁殖, 种群数量迅速增加 The species to multiply and the population to increase rapidly		4.0
			一定范围内繁殖, 不会肆意扩张 Within a certain range of asexual reproduction, will not wantonly expand		2.0
		单株种子量 Number of seed per plant (2%)	缺乏繁殖能力 Lack of reproductive capacity		0
			一年可进行 2 次及以上 Twice a year or more		2.0
种子萌发率 Seed germination rate (2%)	种子萌发率 Seed germination rate (2%)	自然条件下的有性繁殖频率 Frequency of sexual reproduction under natural conditions (2%)	一年只进行 1 次 Only once a year		1.0
			多年进行一次 Once in a while		0
		单株种子量 Number of seed per plant (2%)	>1000 粒 >1000 grains		2.0
			10~1000 粒 10~1000 grains		1.0
		种子萌发率 Seed germination rate (2%)	<10 粒 <10 grains		0
			>60%		2.0
		耐胁迫能力 Stress tolerance (2%)	25%~60%		1.0
			<25%		0
		耐胁迫能力 Stress tolerance (2%)	对多种类型的胁迫具有较强抗逆性 It has strong resistance to multiple types of stress		2.0

续表 1

一级指标 (权重)	二级指标 (权重)	三级指标 (权重)	评价标准	Evaluation criteria	分值/分
扩散方式及能力 Mode and capability of diffusion (11%)	传播扩散方式 Mode of transmission and diffusion (3%)	对特定类型的胁迫具有较强抗逆性	It has strong resistance to certain specific types of stress	1.0	
		胁迫能力较弱	Low tolerance to stress	0	
		通过风力传播或兼具多种传播方式	Spread by wind or in a variety of ways	3.0	
		通过自然散落或动物携带等	By natural dispersal or carried by animals	1.5	
		通过人为采收、翻耕等	By artificial harvesting, ploughing, etc.	0.5	
	传播扩散能力强弱 Ability to spread and diffuse (3%)	种子很轻,极易传播	Seeds are light and easily spread	3.0	
		种子较轻,较易传播	Seeds are lighter and easier to spread	1.5	
		种子较重,不易传播	Seeds are heavy and difficult to spread	0.5	
		是 Yes		0	
		未知 Unknown		2.0	
危害及影响 Potential hazards and impacts (14%)	扩散制约因素 Diffusion constraints (4%)	否 No		4.0	
		距原种植区>50 m	>50 m from original planting area	4.0	
		距原种植区 10~50 m	10~50 m from original planting area	3.0	
	扩散分布范围 Diffusion range (3%)	距原种植区<10 m	<10 m from original planting area	1.5	
		有较弱的萌发能力或无性繁殖能力	Have strong germination ability or asexual reproduction ability	0.5	
		有较强繁殖能力,但能力一般	Capable of asexual reproduction, but only moderately so	2.0	
	生境占领能力 Habitat occupation capacity (2%)	是 Yes		1.0	
		未知 Unknown		2.0	
		否 No		1.0	
	控制难度 Difficulty of prevention and control (6%)	自然杂交能力 Natural hybridization ability (2%)	易与多个近缘物种杂交,污染遗传多样性	It is easy to hybridize with many closely related species and pollute the genetic diversity	0
能与近缘物种杂交			It can interbreed with its relatives	2.0	
不能与近缘物种自然杂交			It cannot interbreed with its relatives	1.0	
对生态位的竞争 Competition for niche (3%)		竞争较强烈	The competition is intense	0	
		可察觉竞争	There is perceptible competition	3.0	
		较小或基本无竞争	There is little or no competition	1.5	
植物残体对水体造成污染 Whether the plant remains can cause pollution to the water body (1%)		是 Yes		0	
		未知 Unknown		1.0	
		否 No		1.0	
		是 Yes		0.5	
植物是否富集和释放重金属 Whether plants can concentrate and release heavy metals (1%)	未知 Unknown		0		
	否 No		0.5		
	造成河道堵塞或淤积	Cause the channel to become blocked or silted up	1.0		
	对港口河道航运造成较大影响	Have a more serious impact on port and river navigation	0.5		
对人类健康的影响 Impact on human health (2%)	影响小	Low impact	0		
	有毒性或过敏源	Toxic or allergenic	2.0		
	植株有刺或伴有刺激性气味	Plants with prickles or pungent odors	1.0		
	无影响或影响小	No effect or little effect	0.5		
入侵识别难度 Intrusion detection difficulty (2%)	需专业人员经实验室鉴定	Require professional personnel to be certified by the laboratory	2.0		
	专业人员可现场辨认	Professionals can identify them on the spot	1.0		
	公众皆知	The public knows	1.0		
			0		

续表 1

一级指标(权重)	二级指标(权重)	三级指标(权重)	评价标准	分值/分
Primary indicator (weight)	Secondary indicators (weight)	Tertiary indicators (weight)	Evaluation criteria	Score
评价地自然环境 Evaluation of the natural environment (10%)	种子或繁殖体监控难度 monitoring seeds or propagules (2%)	传播途径多,距离远,不易监控	The transmission route is many, the distance is far, difficult to monitor	2.0
		传播途径和距离有限,较易监控	Limited routes and distances of transmission make it easier to monitor	1.0
		传播基本可被监控	The transmission can be almost monitored	0.5
	防治难度与成本 Difficulty and cost of prevention and cure (2%)	缺乏防治手段,成本较高,信息和经验有限	Lack of control means, high cost, limited information and experience	2.0
		有较有效的应对措施,成本一般,有一定经验	Have more effective measures to deal with the cost of general, have some experience	1.0
	用地类型 Type of land use (3%)	不需防治,很容易通过人为手段控制	No need to prevent, easy to control through artificial means	0.5
		市民游憩型	Citizen recreation type	0
		旅游观光型	Tourist type	3.0
		生态保育型	Ecological conservation type	2.0
		平地	Level ground	1.0
自然概况 Natural profile (6%)	地貌类型 Landform type (1%)	坡地	Sloping land	1.0
		山地	Mountainous land	0.5
		>75%		0.5
		65%~75%		1.0
		<65%		2.0
	植物种类丰富度 Plant species richness (4%)	较高,本地物种占绝对优势	Higher, and native species are dominate	1.0
		一般,有较多的外来物种	Generally, there are more exotic species	2.0
		较低,外来物种现象普遍而严重	Lower, exotic species phenomenon is widespread and serious	4.0
人类活动干扰 Human disturbance (20%)	人类活动概况 Overview of human activities (6%)	区域人口密度 Regional population density (2%)	>1500 people · km ⁻²	2.0
			500~1500 people · km ⁻²	1.0
			<500 people · km ⁻²	0.5
		人流量 People flow (4%)	>5000 people · d ⁻¹	4.0
			1000~5000 people · d ⁻¹	2.0
	交通概况 Traffic situation (5%)	交通枢纽 Traffic hub		1.0
		普通地区 General area		2.0
		交通较不发达地区 Less developed area		1.5
		与周边联系程度 Degree of connection to the surroundings (3%)	每天有 many 车次或船只来往 There are many trains or boats commuting every day	0.5
			来往频度一般 Cars and boats are coming and going at an average rate	3.0
引种方法及管控 Introduction methods and control (9%)	植被引种方法 Vegetation introduction method (4%)	与周边的联系较少 Less contact with the surrounding area		2.0
		移植 Transplanting		1.0
		播种 Sowing		4.0
		扦插 Cuttage		2.0
		引种植物信息登记不完善或管理措施不到位	Incomplete registration of introduced plant information or inadequate management measures	1.0
	相关管控 Relevant control (5%)	引种植物信息登记较完善或管理情况一般	The information registration of introduced plants is perfect or the management situation is general	5.0
		引种植物信息登记非常完善或管理措施到位	The information register of introduced plants is very perfect or the management measures are in place	3.0
				1.0

表 2 用于体系检验的 30 种植物评分和入侵等级

Table 2 Scores and invasion levels of 30 plants used for system inspection

序号 No.	种 Species	评分/分 Score	入侵等级 Intrusion level
1	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	71.5	2
2	加拿大一枝黄花 <i>Solidago canadensis</i>	70.5	1
3	凤眼蓝 <i>Eichhornia crassipes</i>	70.5	1
4	红车轴草 <i>Trifolium pretense</i>	68.0	4
5	大藻 <i>Pistia stratiotes</i>	66.0	1
6	马缨丹 <i>Lantana camara</i>	65.5	1
7	粉绿狐尾藻 <i>Myriophyllum aquaticum</i>	65.5	3
8	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i>	64.5	4
9	万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>	64.5	4
10	紫茉莉 <i>Mirabilis jalapa</i>	63.0	4
11	山桃草 <i>Gaura lindheimeri</i>	60.5	建议排除种 Recommended species to be removed
12	朱唇 <i>Salvia coccinea</i>	58.5	有待观察种 Species to be observed
13	葱莲 <i>Zephyranthes candida</i>	58.5	有待观察种 Species to be observed
14	炮仗花 <i>Pyrostegia venusta</i>	58.0	建议排除种 Recommended species to be removed
15	蓝桉 <i>Eucalyptus globulus</i>	57.0	5
16	银荆 <i>Acacia dealbata</i>	56.0	建议排除种 Recommended species to be removed
17	假连翘 <i>Duranta erecta</i>	55.5	建议排除种 Recommended species to be removed
18	美人蕉 <i>Canna indica</i>	55.0	建议排除种 Recommended species to be removed
19	迷迭香 <i>Rosmarinus officinalis</i>	55.5	无 None
20	萱草 <i>Heemerocallis fulva</i>	55.0	中国国产种 Species native to China
21	四季海棠 <i>Begonia cucullata</i> var. <i>hookeri</i>	55.0	无 None
22	蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i>	54.5	无 None
23	薰衣草 <i>Lavandula angustifolia</i>	54.5	无 None
24	血苋 <i>Iresine herbstii</i>	53.5	无 None
25	紫娇花 <i>Tulbaghia violacea</i>	53.0	无 None
26	黄金菊 <i>Euryops pectinatus</i>	52.5	无 None
27	双荚决明 <i>Senna bicapsularis</i>	51.5	有待观察种 Species to be observed
28	黄金串钱柳 <i>Melaleuca bracteata</i>	51.0	无 None
29	木槿 <i>Hibiscus syriacus</i>	51.0	无 None
30	银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	50.5	无 None

表 3 南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险分值

Table 3 Ecological risk scores of exotic garden plants in South Dianchi National Wetland Park

序号 No.	种 Species	评分/分 Score	入侵等级 Intrusion level
1	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	71.5	2
2	凤眼蓝 <i>Eichhornia crassipes</i>	70.5	1
3	大花金鸡菊 <i>Coreopsis grandiflora</i>	68.0	有待观察种 Species to be observed
4	大藻 <i>Pistia stratiotes</i>	66.0	1
5	粉绿狐尾藻 <i>Myriophyllum aquaticum</i>	65.5	3
6	秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i>	64.5	4
7	万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>	64.5	4
8	象草 <i>Pennisetum purpureum</i>	64.0	3
9	美丽月见草 <i>Oenothera speciosa</i>	63.5	无 None
10	夹竹桃 <i>Nerium oleander</i>	63.0	建议排除种 Recommended species to be removed
11	柳叶马鞭草 <i>Verbena bonariensis</i>	62.5	无 None
12	纸莎草 <i>Cyperus papyrus</i>	62.0	无 None
13	风车草 <i>Cyperus involucratus</i>	61.5	有待观察种 Species to be observed
14	紫叶狼尾草 <i>Pennisetum setaceum</i> 'Rubrum'	60.0	无 None
15	黄菖蒲 <i>Iris pseudacorus</i>	60.0	建议排除种 Recommended species to be removed
16	再力花 <i>Thalia dealbata</i>	59.5	建议排除种 Recommended species to be removed
17	加杨 <i>Populus × canadensis</i>	59.0	无 None
18	梭鱼草 <i>Pontederia cordata</i>	58.5	无 None
19	天蓝鼠尾草 <i>Salvia uliginosa</i>	58.0	无 None
20	蒲苇 <i>Cortaderia selloana</i>	58.5	无 None

续表 3

序号 No.	种 Species	评分/分 Score	入侵等级 Intrusion level
21	细叶美女樱 <i>Glandularia tenera</i>	56.5	无 None
22	银荆 <i>Acacia dealbata</i>	56.0	建议排除种 Recommended species to be removed
23	垂柳 <i>Salix babylonica</i>	56.0	无 None
24	龙爪柳 <i>Salix matsudana</i> f. <i>tortuosa</i>	56.0	无 None
25	南非万寿菊 <i>Osteospermum ecklonis</i>	56.0	无 None
26	假烟叶树 <i>Solanum erianthum</i>	56.0	2
27	美人蕉 <i>Canna indica</i>	55.5	建议排除种 Recommended species to be removed
28	迷迭香 <i>Rosmarinus officinalis</i>	55.5	无 None
29	四季海棠 <i>Begonia cucullata</i> var. <i>hookeri</i>	55.0	无 None
30	蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i>	54.5	无 None
31	薰衣草 <i>Lavandula angustifolia</i>	54.5	无 None
32	血苋 <i>Iresine herbstii</i>	53.5	无 None
33	紫娇花 <i>Tulbaghia violacea</i>	53.0	无 None
34	黄金菊 <i>Euryops pectinatus</i>	52.5	无 None
35	凤梨鼠尾草 <i>Salvia elegans</i>	52.0	无 None
36	黄金串钱柳 <i>Melaleuca bracteata</i>	51.0	无 None
37	木槿 <i>Hibiscus syriacus</i>	51.0	无 None
38	银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	50.5	无 None
39	海桐 <i>Pittosporum tobira</i>	50.5	无 None
40	山麦冬 <i>Liriope spicata</i>	50.0	无 None
41	垂枝红千层 <i>Callistemon viminalis</i>	49.5	无 None
42	玉兰 <i>Yulania denudata</i>	49.0	无 None
43	红花檵木 <i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i>	49.0	无 None
44	鸡爪槭 <i>Acer palmatum</i>	48.5	无 None
45	红叶石楠 <i>Photinia</i> × <i>fraseri</i>	48.5	无 None
46	无花果 <i>Ficus carica</i>	48.0	无 None
47	八角金盘 <i>Fatsia japonica</i>	48.0	无 None
48	紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> f. <i>atropurpurea</i>	47.0	无 None
49	黄杨 <i>Buxus sinica</i>	47.0	无 None
50	中山杉 <i>Taxodium</i> 'Zhongshanshan'	46.5	无 None
51	桑 <i>Morus alba</i>	46.5	无 None
52	银木 <i>Cinnamomum septentrionale</i>	46.0	无 None
53	冬青卫矛 <i>Euonymus japonicus</i>	46.0	无 None
54	木芙蓉 <i>Hibiscus mutabilis</i>	46.0	无 None
55	锦绣杜鹃 <i>Rhododendron</i> × <i>pulchrum</i>	45.5	无 None
56	马蹄莲 <i>Zantedeschia aethiopica</i>	44.5	无 None
57	金竹 <i>Phyllostachys sulphurea</i>	37.0	无 None

表 4 南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险等级统计					
Table 4 Statistics of ecological risk levels of exotic garden plants in South Dianchi National Wetland Park					
风险等级 Risk level	分值/分 Score	科数量 Number of family	属数量 Number of genus	种数量 Number of species	
A (高风险 High risk)	$P\geq 64$	12	14	8	
B (中风险 Medium risk)	$55<P<64$	19	26	20	
C (低风险 Low risk)	$P\leq 55$	12	14	29	

针对 8 种高风险植物提出具体管控和种植替换建议:白车轴草 *Trifolium repens* L.应严格控制引种栽培,如入侵草地或疏林应及时铲除,可用马蹄金 *Dichondra micrantha* Urban 和垂盆草 *Sedum sarmentosum* Bunge 进行种植替换;凤眼蓝 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms 进行人工打捞、机械搅灭法或使用除草剂,可用金银莲花 *Nymphoides indica* (L.) O.

Kuntze 和水鳖 *Hydrocharis dubia* (Bl.) Backer 进行替换;大花金鸡菊 *Coreopsis grandiflora* Nutt. ex Chapm 需要严格控制引种,使用阔叶山麦冬 *Liriope muscari* (Decaisne) L. H. Bailey 和两头毛 *Incarvillea arguta* (Royle) Royle 进行替换;大藻 *Pistia stratiotes* Linn 需要人工打捞或用暂时排水的方法使之脱离水源无法生长,可用睡莲 *Nymphaea tetragona* Georgi 和海菜花

Ottelia acuminata (Gagnep.) Dandy 替换;对于粉绿狐尾藻 *Myriophyllum aquaticum* (Vellozo) Verdc. 必须禁止引种,施用一定剂量除草剂可达到明显控制作用,以野慈姑 *Sagittaria trifolia* Linn 和杉叶藻 *Hippuris vulgaris* Linn 替换其生态位;秋英 *Cosmos bipinnatus* Cavanilles 需被控制于适宜的栽培区,紫萼 *Hosta ventricosa* (Salisb.) Stearn 和金鱼草 *Antirrhinum majus* Linn 均可替换;万寿菊 *Tagetes erecta* Linn 要控制引种,可使用忽地笑 *Lycoris aurea* (L'Her.) Herb. 和海南三七 *Kaempferia rotunda* L. 替换。象草 *Pennisetum purpureum* Schum. 需控制引种并人工拔除,文殊兰 *Crinum asiaticum* L. var. *sinicum* (Boxb. ex Herb.) Baker 和大叶仙茅 *Curculigo capitulate* (Lour.) O. Kuntze 可替换。

3 结论与讨论

云南作为边境省份,对外交流频繁,拥有多样的生态环境,是中国生物入侵的脆弱区,入侵情况多样且特殊(李嵘和邓涛,2021),需要加强对来源于美洲地区植物的引种前研究;建议对云南地区菊科和禾本科外来植物进行专项管理。应着力推进植物调查统计工作,建立健全物种调查体系,适当改进调查研究方法,尽力完善相关工作流程,及时更新入侵物种数据,促进植物学科理论发展。南滇池国家湿地公园外来园林植物种类多、范围广,造成危害程度不一。湿地内外来园林植物如秋英、万寿菊、大花金鸡菊等可在路边大量繁殖,对景观造成影响;水生植物如凤眼蓝、大藻和粉绿狐尾藻等在滇池水体中大量生长,阻塞河道,破坏水生生态环境。后续研究应重点关注该地高风险植物扩散动态,掌握中风险植物潜在危害,继续深入研究外来园林植物化感作用和繁殖扩散方式,在进行植物种植替换前深入权衡景观和生态之间的效益,充分考虑物种之间的潜在关系以及同土壤微生物之间的联系,保障云南地区生态安全。

本研究表明,南滇池国家湿地公园外来园林植物生态风险评价体系的评价结果总体较为合理,但仍存在少数偏差。大花金鸡菊、粉绿狐尾藻、秋英和万寿菊这些菊科植物因环境适应性较强、种子较轻和扩散传播能力强得分较高,云南地区菊科植物入侵案例丰富、范围较广,菊科入侵植物具有较强的繁殖能力、竞争能力和化感作用,且天敌缺乏(王德艳等,2017),从而展现出独特的入侵性,体系指

标选取上部分倾向于以菊科植物来体现云南地区实际入侵情况。粉绿狐尾藻作为沉水植物,根系较为发达,生长速度较快(秦启文等,2020),繁殖和扩散能力较强,该植物在中国外来入侵物种信息系统的等级虽低,但在南滇池国家湿地公园实地考察中发现该植物入侵能力极强、扩散范围广,且有研究表明,升温 and 营养增加能促进粉绿狐尾藻的生长,在全球变暖、氮沉降增加和降水格局变化的背景下,粉绿狐尾藻的入侵潜力有增加的趋势(洪亚萍,2019),因此,粉绿狐尾藻在本体系中得分较高有一定科学性和合理性,后期防控中需对其进行重点关注处理,以免泛滥成灾。夹竹桃评分 63.0 分,为建议排除种,因入侵史丰富、能够富集重金属、植株有毒且具有化感作用而评分偏高,该植物为乔木,实地考察中表现出来的入侵性不高,可能因评价体系对潜在危害及影响有倾向性,使得评分略高于同类乔木,将其分到中风险植物也合理,这类植物对滇池区域生态安全和人体健康有一定危害,后期需要特别监控。假烟叶树评分为 56.0 分,入侵等级却为 2 级,可能因其适应区气候环境与云南滇池区域差距较大,其适宜的生境类型少、现状调查长势不好、繁殖能力和生境占领能力一般且潜在危害较低,在云南地区未来的防控中不必列为严重入侵植物,但考虑到其丰富的入侵史和全球环境的变化仍要进行长期监控。在今后相似类型的生态湿地外来植物评价实践中,可根据当地实际情况适当调整体系指标进行评分。划分风险等级时若植物基数和评分梯度较大,可增加划分的等级层次,更加有针对性地对不同等级提出适宜的管控策略。

南滇池国家湿地公园作为近年内获批的国家湿地公园,需要进一步加强外来植物管控,以严格的植物评价论证作为管控依据,依据国家和地方相关法规,制定符合需求、操作可行、精准有效的细化准则,从源头加强外来植物的监控,维护滇池区域生态安全和人类健康安全。近年来,我国验收挂牌的国家湿地公园逐渐增多,但尚未有专家学者关注到前期建设外来植物的处理问题。该体系仍存在一定局限性,实际运用较少,未来还需在实践中进一步完善。本研究着眼于国家湿地公园外来植物的生态风险评价和管控,以期为目前国家湿地公园的建设,乃至各类生态湿地公园的发展提供新思路 and 参考。

参考文献

- 顾慧, 2014. 华东地区外来引种陆生植物入侵风险评估体系的构建. 硕士学位论文. 南京: 南京林业大学.
- 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) [2021-03-01]. <http://www.forestry.gov.cn/main/5925/20200414/090421117941948.html>.
- 洪亚萍, 2019. 外来种粉绿狐尾藻在全球变化背景下的入侵性研究. 硕士学位论文. 武汉: 武汉大学.
- 昆明市滇池管理局, 2020. 滇池湖滨湿地植物应用推荐名录. (2020-07-08) [2021-09-16]. <http://dgi.km.gov.cn/c/2020-07-08/3602139.shtml>.
- 李嵘, 2014. 云南湿地外来植物入侵图鉴. 1卷. 昆明: 云南科技出版社.
- 李嵘, 邓涛, 2021. 云南外来入侵植物现状和防控策略. 西部林业科学, 50(5): 23-35.
- 刘可丹, 覃丽婷, 罗欢, 和太平, 2020. 南宁市城区园林绿地系统外来入侵植物风险评估. 广西林业科学, 49(1): 105-112.
- 刘蕴哲, 2019. 长沙市三大城市湿地公园外来植物调查及其入侵风险研究. 硕士学位论文. 长沙: 湖南师范大学.
- 马金双, 李惠茹, 2018. 中国入侵植物名录. 北京: 高等教育出版社.
- 欧晓昆, 宋鼎, 刘敏, 2015. 中国云南乡土园林植物(上). 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.
- 秦启文, 赵昕, 周守标, 2020. 水禾和粉绿狐尾藻对生活污水净化效果研究. 安徽师范大学学报(自然科学版), 43(5): 452-458.
- 芮振宇, 钟耀华, 刘姚, 张震, 2020. 安徽省外来植物入侵状况分析. 生物安全学报, 29(1): 59-68.
- 王德艳, 张大才, 胡世俊, 闫晓慧, 2017. 云南菊科入侵植物入侵机制及其利用研究进展. 生物安全学报, 26(4): 259-265.
- 许光耀, 李洪远, 莫训强, 孟伟庆, 2019. 外来入侵植物管理与控制成效的制约因素. 生态学杂志, 38(10): 3169-3176.
- 徐海根, 强胜, 2011. 中国外来入侵生物. 北京: 科学出版社.
- 徐汝梅, 2003. 生物入侵数据集成、数量分析与预警. 北京: 科学出版社.
- 谢勇, 徐永福, 游健荣, 李家湘, 熊磊, 李畅, 2020. 黄河国家湿地公园外来植物种类组成、区系与入侵危害. 生态学杂志, 39(11): 3613-3622.
- 杨春蕾, 罗建, 拦继酒, 2018. 西藏林芝市外来植物入侵风险评估指标体系. 高原农业, 2(2): 167-175.
- 杨红, 潘曲波, 2019. 植物外来种生态风险评价体系研究现状分析. 现代园艺 (19): 26-30.
- 杨红, 潘曲波, 2021. 南滇池国家湿地公园水生植物多样性研究. 西南林业大学学报(社会科学), 5(1): 41-47.
- 赵栋锋, 2019. 陕北地区外来植物及入侵风险评价. 硕士学位论文. 杨陵: 西北农林科技大学.
- 张丽, 罗建, 2019. 西藏林芝市城区植物种类构成及其分布特征. 生态科学, 38(4): 91-98.
- 张璞进, 赵利清, 梁晨霞, 张国龙, 张迁迁, 岳丽, 徐步云, 杨劼, 张培青, 清华, 2019. 内蒙古外来植物入侵风险评估. 生态学杂志, 38(7): 1973-1981.
- MEALOR B A, HILD A L, 2007. Post-invasion evolution of native plant populations: a test of biological resilience. *Oikos*, 116(9): 1493-1500.
- MCLEAN P, GALLIEN L, WILSON J R U, GAERTNER M, RICHARDSON D M, 2017. Small urban centres as launching sites for plant invasions in natural area: insights from South Africa. *Biological Invasions*, 19(12): 3541-3555.
- WITTA B R, NUNDA W, BEALE T, KRITICOS D J, 2020. A preliminary assessment of the presence and distribution of invasive and potentially invasive alien plant species in Laikipia County, Kenya, a biodiversity hotspot. *Koedoe*, 62(1): 1-10.

(责任编辑: 郑姗姗)