



广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物

程欣欣, 聂丽云, 余小玲, 刘艳艳, 马钰琦, 王发国, 王爱华

引用本文:

程欣欣, 聂丽云, 余小玲, 刘艳艳, 马钰琦, 王发国, 王爱华. 广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(3): 444–454.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4609>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

福建省农田生态系统外来入侵植物种类及其分布

Species and Distribution of Invasive Alien Plants in Farmland Ecosystems of Fujian Province

热带亚热带植物学报. 2020, 28(6): 547–556 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4206>

鄱阳湖南矶山湿地自然保护区的外来入侵植物调查与分析

Investigation on the Invasive Plants in Nanjishan Nature Reserve of Poyang Lake

热带亚热带植物学报. 2015(4): 419–427 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.009>

2008–2016年间广州市外来入侵植物的变化分析

Dynamic Changes in Alien Invasive Plants in Guangzhou during 2008–2016

热带亚热带植物学报. 2017, 25(3): 288–298 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3681>

外来入侵植物与人工林下层植被结构的关联性

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 10–16 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4050>

广西中部7种典型灌丛群落的物种多样性特征

Species Biodiversity of Seven Typical Shrub Communities in the Middle of Guangxi Zhuang Autonomous Region

热带亚热带植物学报. 2018, 26(2): 157–163 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3841>

向下翻页, 浏览PDF全文

广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物

程欣欣¹, 聂丽云¹, 余小玲¹, 刘艳艳², 马钰琦¹, 王发国¹, 王爱华^{1,2*}

(1. 中国科学院华南植物园, 中国科学院植物资源保护与可持续利用重点实验室, 广州 510650; 2. 南宁师范大学, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001)

摘要: 为保护广西北部湾海岸带、海岛的植物多样性和生态系统多样性, 通过样方、样带法野外实地调查并结合文献资料, 对其外来入侵植物的物种组成、原产地、生活型、入侵途径和危害状况等进行了分析。结果表明, 广西北部湾海岸带、海岛共有入侵植物 64 种, 隶属 28 科 55 属, 其中菊科(Asteraceae)最多(15 种)。草本植物最多, 有 48 种(75.00%)。原产地来自美洲的植物最多, 有 49 种。入侵风险等级可划分为 5 个等级, 其中 I 级严重危害的有 8 种(12.50%)。与广西、广东、海南及华南地区的外来入侵植物在物种组成、生活型和原产地等方面呈现出较强的相似性; 北部湾与广西中越边境内陆地区来自美洲的入侵植物都超过 60%。因此推测广西外来入侵植物有两条可能的入侵线路: 一是从海南登录, 二是从中越边境跨入。广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物总数(相对整个广西)虽较少, 但其 8 种 I 级严重危害植物的防治, 仍需引起重视。

关键词: 海岸带; 广西; 入侵植物; 危害等级; 防治

doi: 10.11926/jtsb.4609

Invasive Alien Plants in the Coastal Zone and Islands of Beibu Gulf, Guangxi

CHENG Xinxin¹, NIE Liyun¹, YU Xiaoling¹, LIU Yanyan², MA Yuqi¹, WANG Faguo¹, WANG Aihua^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Sustainable Utilization, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Key Laboratory of Beibu Gulf Environmental Evolution and Resource Utilization of the Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning 530001, China)

Abstract: To protect the plant and ecosystem diversity of the coastal zone and islands along Beibu Gulf, Guangxi, the species composition, origin, life forms, invasion routes and damage status of alien invasive plants were analyzed by field investigation using quadrats and transect methods and literature data. The results showed that there were total 64 invasive plants, belonging to 28 families and 55 genera, in which, Asteraceae (15 species) were the most. Herbaceous plants were most with 48 species, accounting for 75.00%. The plants originated from America were the most with 49 species. The risk level of invasion could be divided into 5 grades, among which grade I (serious hazards) had 8 species, accounting for 12.50%. The alien invasive plants of Beibu Gulf were similar to those from Guangxi, Guangdong, Hainan and South China in species composition, life forms and origin. There were more than 60% of invasive plants come from the Americas in Beibu Gulf and inland area of China-Vietnam border in Guangxi. So, it was speculated that there were two possible invasion routes in Guangxi: one was from Hainan, and the other was from China-Vietnam border. Although the total number of alien invasive plants in Beibu Gulf was smaller than that in Guangxi, the prevention and control of 8 alien invasive species of

收稿日期: 2022-01-17 接受日期: 2022-04-02

基金项目: 广西壮族自治区自然科学基金项目(2018GXNSFBA138005, 2018GXNSFBA138009)资助

This work was supported by the Project for Youth of Natural Science in Guangxi (Grant No. 2018GXNSFBA138005, 2018GXNSFBA138009).

作者简介: 程欣欣(1997 年生), 女, 硕士研究生, 主要从事植物分类学和系统发育的研究。E-mail: 18316234337@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangah@scbg.ac.cn

grade I should be paid more attention.

Key words: Coastal zone; Guangxi; Invasive alien plant; Hazard grade; Control

在全球变化加剧的背景下,世界范围内经贸交往日益密切;随着人口增加和经济发展,人类活动的范围、频度和强度不断加大,均为生物入侵提供了更大的潜力。入侵植物是指通过自然和人类活动等无意或有意的传播或引入到异域的植物,通过归化自身建立可繁殖的种群,进而影响侵入地的生物多样性,使其生态环境受到破坏,并造成经济影响或损失^[1]。外来入侵植物对我国的经济、生态、生物多样性以及社会环境和人类生活安全等已经造成非常严重的威胁。在经济安全方面,生物入侵造成农林牧渔业生产严重损失,威胁国家经济安全。如被作为观赏植物引种的凤眼莲(*Eichhornia crassipes*),在我国推广后大量逸生,大面积覆盖河道、湖泊、水库和池塘等水体,给蚊蝇等卫生害虫提供了良好的生存环境,对人们的健康构成了威胁。据不完全统计,我国因打捞凤眼莲的费用就达到数十亿元,而凤眼莲造成的直接经济损失也高达100亿元^[2]。生物入侵还会带来严重的生态灾难,破坏生物多样性。近年来,大米草(*Spartina anglica*)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、微甘菊(*Mikania micrantha*)等在我国不同生态系统中疯狂入侵蔓延,排挤本地种,导致生物群落的衰退和生物多样性的丧失^[3]。生物入侵还会威胁人类健康,如入侵我国的豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)花粉是引起人类花粉过敏症的主要病原,导致近年来北方地区“枯草热”逐年上升^[3]。目前,全国34个省(市、区)中无一没有外来入侵物种,甚至在很多国家级的自然保护区内,都能找到外来入侵植物的踪迹^[4]。而在IUCN公布的全球100种最具威胁的外来入侵生物中,我国就有50种^[5]。

《全国海岛保护规划》中提出积极开展海岛生态资源调查,实施海岛生态修复工程,建立海岛生态保护评价体系,同时也提出了“开展海岛物种登记,防止外来物种入侵”的任务目标^[6]。广西位于中国西南部,是中国的边界地带。高温多雨的气候条件加上地处沿海地带,促进了外来物种的入侵,据统计2008年广西的入侵植物有74种^[7],2019年已达180种^[8]。广西海岸带东起广东、广西交界的洗米河口,西至中越交界的北仑河口,全长1595 km^[9]。然而,目前有关广西海岸带、海岛地区的外来入侵

植物种类组成和入侵现状等基本资料缺乏,给防控带来了较大困难。本文针对广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物展开了本底调查研究,了解入侵植物的种类、生态分布及危害情况,分析其入侵风险,为广西外来入侵植物的监控及防治提供最基本的资料和数据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

广西北部湾海岸带、海岛位于北回归线以南的低纬度地区,地处南亚热带季风性气候区,具有气候温暖、热量丰富、降水丰沛的特点^[10]。同时海岛受多个热带海洋季风影响,气候海洋性强、季风盛行。广西海岸带东起广东、广西交界的洗米河口,西至中越交界的北仑河口,全长1595 km,沿海岛屿697个,岛屿岸线461 km^[9]。岛屿面积小,且海拔高度变化不大,多为沿海带(包括海湾、港口、河口等)分布的大陆岛和冲积岛,仅有2个海洋岛(火山岛),即涠洲岛和斜阳岛。据海岛集中分布的地理区域和特点划分为涠洲岛-斜阳岛、钦州湾、防城港湾、大风江河口、廉州湾南流江河口、铁山港湾、珍珠湾等七大海岛区^[6]。本研究调查取样,西起珍珠港,沿着防城港、钦州湾、大风江,东至北海湾和铁山港,最后到达涠洲岛,位于108°12'~109°11'E, 21°53'~21°89'N(表1)。

1.2 方法

通过样方法和样带法,分别于2019年7月、2021年4月2次在广西北部湾海岸带、海岛随机选取22个调查地点(表1),每个调查地点设置2个样地(各20 m×20 m),共44个样方,进行植物摸底调查,记录入侵植物的种类量、地点等信息,并拍照和采集标本。在相邻2个样方结合样带法,记录入侵植物。

1.3 外来入侵植物风险等级评估

参考《厦门外来物种入侵风险评估研究》^[11],采用“风险评估指标体系方法”,对北部湾外来入侵物种进行危害风险等级评价。确立5个一级指标,下设17个二级指标和41个三级指标(表2),构建分级评估系统。将风险评估体系的总值设定为100分,根据不同的权重^[12],计算各级指标的分值。对于定

表 1 调查取样地点统计

Table 1 Survey sampling location statistics

编号 No.	地点 Location	经度 (E) Longitude	纬度 (N) Latitude	海拔 (m) Altitude	时间 Date (Y/M/D)
1	白浪滩风景区	108°25'54"	21°61'74"	6.58	2019/7/22
2	金滩风景区 2	108°12'50"	21°53'77"	-11	2019/7/21
3	金滩风景区 1	108°15'38"	21°52'88"	-2.27	2019/7/21
4	龙门港南村渔政管理中心分站	108°54'17"	21°73'67"	-10	2019/7/23
5	防城港尾洲独山	108°43'16"	21°66'03"	3.85	2019/7/25
6	企沙大道伏波岭	108°42'49"	21°58'60"	13	2019/7/24
7	广西防城港防城新围仔	108°50'30"	21°80'99"	8	2021/4/6
8	广西钦州市钦南区瓦泾	108°57'12"	21°88'86"	4	2021/4/7
9	广西钦州市钦南区龙门港镇东村背风环	108°56'49"	21°78'78"	1	2021/4/7
10	广西钦州市钦南区大番坡镇下埠村	108°66'91"	21°79'68"	9	2021/4/7
11	广西钦州市钦南区犀牛角镇大环村	108°70'97"	21°65'38"	8	2021/4/8
12	广西钦州市钦南区犀牛角镇三娘湾景区	108°75'80"	21°61'66"	17	2021/4/8
13	广西钦州市钦南区犀牛角镇苏屋村	108°85'19"	21°64'55"	22	2021/4/8
14	广西钦州市钦南区犀牛角镇邓家村	108°82'95"	21°69'04"	5	2021/4/8
15	广西钦州市钦南区东场镇细阔口村	108°81'70"	21°80'90"	5	2021/4/8
16	广西钦州市钦南区东场镇窖墩	108°83'27"	21°80'09"	6	2021/4/8
17	广西北海市合浦县沙冲村金滩开发区旁	109°10'22"	21°56'94"	4	2021/4/9
18	广西北海市合浦县溜头村附近	108°90'89"	21°61'74"	-4	2021/4/9
19	广西北海市合浦县大漏地附近	108°85'14"	21°69'86"	4	2021/4/9
20	广西北海市涠洲岛圣堂景区游客中心	109°12'41"	21°04'82"	24	2021/4/10
21	广西北海市涠洲岛五彩滩	109°12'18"	21°02'21"	27	2021/4/10
22	广西北海市银海区冠岭山庄附近	109°04'83"	21°44'75"	55	2021/4/11

表 2 外来植物入侵风险评估体系及其指标权重

Table 2 Risk assessment system of alien plant invasion and its index weight

一级指标 First level indicator	权重 /% Weight	二级指标 Secondary indicator	权重 /% Weight	三级指标 Third level indicators	权重 /% Weight
引入阶段(R1) Introduction stage	18	引入途径(R1.1) Introduction pathway	8	有意引入 Introduced intentionally	4
				无意引入 Introduced unintentionally	4
		引入规模(R1.2) Introduction scale	6	引入数量 Number of introductions	3
				引入次数 Number of introductions	3
引入管理(R1.3) Introduce management	4	法规控制管理 Regulatory control management	4	法规控制管理 Regulatory control management	2
				检疫控制管理 Quarantine control management	2
		气候适应(R2.1) Climate adaptation	2	气候适应能力 Climate adaptability	2
				抗性(R2.2) Resistance	4
适应能力(R2.3) Adaptability	9	繁殖期抗逆能力 Resilience during the breeding period	3		
		环境因子(R2.4) Environmental Factors	3	生长适应能力 Growth adaptability	2
扩散阶段(R3) Diffusion stage	18			扩散方式(R3.1) Diffusion method	4.5
		生长速度 Growth rate (R3.2)	1.5		
扩散现状(R3.3) Diffusion status	6			水分条件 Moisture condition	1
		扩散程度 Degree of diffusion	2	土壤盐度条件 Soil salinity conditions	1
不良影响区比例 Proportion of adversely affected areas	2			土壤营养条件 Soil nutrient conditions	1
		扩散距离 Diffusion distance	1.5	扩散方式多样性 Diversity of diffusion	1.5
扩散速度 Diffusion rate	1.5			扩散距离 Diffusion distance	1.5
		生长速度 Growth rate	1.5	扩散速度 Diffusion rate	1.5
扩散面积 Diffusion area	2			生长速度 Growth rate	1.5
		扩散程度 Degree of diffusion	2	扩散面积 Diffusion area	2
不良影响区比例 Proportion of adversely affected areas	2			扩散程度 Degree of diffusion	2
		不良影响区比例 Proportion of adversely affected areas	2	不良影响区比例 Proportion of adversely affected areas	2

续表(Continued)

一级指标 First indicator	权重 /% Weight	二级指标 Second indicator	权重 /% Weight	三级指标 Third level indicator	权重 % Weight		
扩散阶段(R3) Diffusion stage		控制机制(R3.4) Control mechanism	3	天敌状况 Natural enemy status	1.5		
		扩散趋势(R3.5) Diffusion trend	3	控制管理状况 Control management status	1.5		
危害阶段(R4) Hazard phase	36	生态危害(R4.1) Ecological hazard	10	同生态位竞争物种 Competing species in the same niche	1.5		
				空余扩散空间 Free diffusion space	1.5		
		社会危害(R4.2) Social hazard	8	对本地种危害 Harm to native species	3	对生态系统过程的影响 Impact on ecosystem processes	3
						对环境的影响 the effect on the environment	2
						对生物多样性的影响 Impact on biodiversity	2
						社会生产影响 Social production impact	4
						社会生活影响 Social life impact	4
						经济危害(R4.3) Economic hazard	10
		交通运输影响 Transportation impact	3				
		健康危害(R4.4) Health hazard	8	资源利用影响 Resource utilization impact	2	旅游产业影响 Tourism industry impact	2
动植物健康危害 Animal and plant health hazards	4						
人类健康危害 Human health hazards	4						
防治阶段(R5) Control stage	10					防治管理(R5.1) Prevention and management	10
防治副作用 Prevent side effects		3					
防治成本 Control cost		4					
总计 Total	100		100		100		

量指标, 按设定的定量范围参考打分, 不能定量的指标, 运用专家经验评估打分, 得分总和便是其综合风险值。

1.4 入侵植物原产地与入侵地环境数据分析

针对危害最为严重的 I 级入侵植物的原产地和入侵地进行环境因子分析, 在 R 中使用 rgbif 在全球生物多样性信息网络数据库(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)下载和筛选物种分布记录, 利用物种分布点的经纬度信息, 使用 Raster 从 WorldClim 数据库中提取气候变量, 评估物种分布和气候之间的联系^[13-15]。

2 结果和分析

2.1 入侵植物的物种组成

经统计, 广西北部湾海岸带、海岛地区共有外来入侵植物 64 种, 隶属 28 科 55 属(表 3)。种类最多的是菊科(Asteraceae, 15 种,下同)、豆科(Fabaceae, 6)、禾本科(Poaceae, 6)、苋科(Amaranthaceae, 4)、大戟科(Euphorbiaceae, 3)、锦葵科(Malvaceae, 3)。其中, 空心莲子草、凤眼莲、飞机草(*Chromolaena odorata*)和互花米草(*Spartina alterniflora*)属于首批公布的外来入侵植物^[16]。马缨丹(*Lantana camara*)、大藻(*Pistia stratiotes*)、土荆芥(*Dysphania ambro-*

sioides)、银胶菊(*Parthenium hysterophorus*)和刺苋(*Amaranthus spinosus*)属于第二批公布的外来入侵植物^[17]。另外, 凤眼莲、银合欢(*Leucaena leucocephala*)、马缨丹、南美蟛蜞菊(*Sphagneticola trilobata*)和飞机草被 IUCN 列入世界上最有害的 100 种外来入侵种^[5]。

2.2 入侵植物的生活型和原产地分析

广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物的生活型可分为草本、藤本、灌木和乔木 4 类。根据调查结果, 草本有 48 种(75.00%), 含有 1 种水生草本(凤眼莲); 藤本有 2 种(3.13%); 灌木有 10 种(15.63%); 乔木有 4 种(6.25%)。可见该地入侵植物中, 草本植物占据绝对优势, 其次为灌木类, 少数为乔木类及藤本。

对其原产地来源分析, 发现来自美洲的入侵植物最多, 共 49 种(76.56%); 其次是非洲 8 种(12.50%)、亚洲 4 种(6.25%)、大洋洲 2 种(3.13%)、欧洲 1 种(1.56%)。与中国入侵植物的美洲占比(52%)相比较^[19], 广西北部湾海岸带、海岛的占比更多(76.56%)。

2.3 入侵途径

广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物的途径有两种, 有意引入和无意带入(图 1)。有意引入 32 种(50%), 多通过观赏、护坡、药用、食用、牧草绿肥或饲料、造林等用途被引入。作为观赏植物

表 3 入侵植物名录

Table 3 List of invasive plants

科 ^[18] Family	种 Species	生活型 Life form	原产地 Origin	入侵等级 Invasion grade	引入方式 Introduction method
石蒜科 Amaryllidaceae	龙舌兰 <i>Agave americana</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	IV(32.5)	II
雨久花科 Pontederiaceae	凤眼蓝 <i>Eichhornia crassipes</i>	草本 Herb	巴西 Brazil	I(63)	II
景天科 Crassulaceae	落地生根 <i>Bryophyllum pinnatum</i>	草本 Herb	非洲 Africa	III(47.5)	II
豆科 Fabaceae	光荚含羞草 <i>Mimosa bimucronata</i>	灌木 Shrub	热带美洲 Tropical America	II(51.5)	II
	田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	草本 Herb	大洋洲至太平洋岛屿 Oceania to Pacific Islands	III(49.5)	II
	猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i>	草本 Herb	非洲 Africa	IV(32)	II
	木豆 <i>Cajanus cajan</i>	灌木 Shrub	热带亚洲 Tropical Asia	IV(31.5)	II
	双荚决明 <i>Senna bicapsularis</i>	灌木 Shrub	热带美洲 Tropical America	V(29.5)	II
	银合欢 <i>Leucaena leucocephala</i>	乔木 Arbor	热带美洲 Tropical America	V(26.5)	II
荨麻科 Urticaceae	小叶冷水花 <i>Pilea microphylla</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	IV(37.5)	II
酢浆草科 Oxalidaceae	红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	IV(33)	II
	酢浆草 <i>O. corniculata</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	IV(30.5)	IU
大戟科 Euphorbiaceae	飞扬草 <i>Euphorbia hirta</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	III(46.5)	IU
	通奶草 <i>E. hypericifolia</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	III(41.5)	IU
	蓖麻 <i>Ricinus communis</i>	灌木 Shrub	东非 East Africa	IV(32)	II
使君子科 Combretaceae	对叶榄李 <i>Laguncularia racemosa</i>	乔木 Arbor	墨西哥 Mexico	II(32)	II
千屈菜科 Lythraceae	无瓣海桑 <i>Sonneratia apetala</i>	乔木 Arbor	南亚 South Asia	III(44)	II
柳叶菜科 Onagraceae	草龙 <i>Ludwigia hyssopifolia</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	III(41)	IU
桃金娘科 Myrtaceae	桉 <i>Eucalyptus robusta</i>	乔木 Arbor	澳大利亚 Australia	I(67.5)	II
锦葵科 Malvaceae	黄花稔 <i>Sida szechuensis</i>	灌木 Shrub	热带美洲 Tropical America	III(44)	IU
	泡果苘 <i>Herissantia crispa</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	V(28)	IU
	赛葵 <i>Malvastrum coromandelianum</i>	草本 Herb	美洲 America	V(28)	IU
旋花科 Convolvulaceae	五爪金龙 <i>Ipomoea cairica</i>	藤本 Liana	非洲 Africa	II(59.5)	II
	圆叶牵牛 <i>I. purpurea</i>	藤本 Liana	美洲 America	III(40.5)	II
苋科 Amaranthaceae	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	草本 Herb	巴西 Brazil	I(63.5)	IU
	皱果苋 <i>Amaranthus viridis</i>	草本 Herb	南美洲 South America	III(49.5)	IU
	刺苋 <i>A. spinosus</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	III(43)	IU
	银花苋 <i>Gomphrena celosioides</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	IV(39.5)	II
紫茉莉科 Nyctaginaceae	紫茉莉 <i>Mirabilis jalapa</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	IV(32)	II
落葵科 Basellaceae	落葵 <i>Basella alba</i>	草本 Herb	热带亚洲 Tropical Asia	III(45)	II
马齿苋科 Portulacaceae	毛马齿苋 <i>Portulaca pilosa</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	IV(35.5)	IU
仙人掌科 Cactaceae	仙人掌 <i>Opuntia dillenii</i>	灌木 Shrub	加勒比海 Caribbean Sea	IV(33)	II
禾本科 Poaceae	互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>	草本 Herb	北美洲 North America	I(62)	II
	铺地黍 <i>Panicum repens</i>	草本 Herb	欧洲南部 Southern Europe	II(52.5)	IU
	大黍 <i>P. maximum</i>	草本 Herb	非洲 Africa	III(40)	II
	巴拉草 <i>Brachiaria mutica</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	III(47.5)	II
	象草 <i>Pennisetum purpureum</i>	草本 Herb	非洲 Africa	III(46.5)	II
	两耳草 <i>Paspalum conjugatum</i>	草本 Herb	拉丁美洲 Latin America	III(44)	IU
天南星科 Araceae	大藻 <i>Pistia stratiotes</i>	草本 Herb	巴西 Brazil	II(55.5)	II
莎草科 Cyperaceae	苏里南莎草 <i>Cyperus surinamensis</i>	草本 Herb	美洲 America	III(47)	IU
茜草科 Rubiaceae	阔叶丰花草 <i>Spermacoce alata</i>	草本 Herb	南美洲 South America	III(48)	II
	盖裂果 <i>Mitracarpus hirtus</i>	草本 Herb	南美洲 South America	III(42)	IU
夹竹桃科 Apocynaceae	长春花 <i>Catharanthus roseus</i>	灌木 Shrub	马达加斯加 Madagascar	IV(36)	II
茄科 Solanaceae	水茄 <i>Solanum torvum</i>	灌木 Shrub	加勒比海 Caribbean Sea	II(50.5)	IU
	少花龙葵 <i>S. americanum</i>	草本 Herb	美洲 America	III(43.5)	IU
马鞭草科 Verbenaceae	马缨丹 <i>Lantana camara</i>	灌木 Shrub	热带美洲 Tropical America	II(54)	II
	蔓马缨丹 <i>L. montevidensis</i>	灌木 Shrub	热带美洲 Tropical America	III(44)	II
藜科 Chenopodiaceae	土荆芥 <i>Dysphania ambrosioides</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	II(50)	IU
菊科 Asteraceae	飞机草 <i>Chromolaena odorata</i>	草本 Herb	中美洲 Central America	I(64.5)	IU

续表(Continued)

科 ^[18] Family	种 Species	生活型 Life form	原产地 Origin	入侵等级 Invasion grade	引入方式 Introduction method
菊科 Asteraceae	鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	草本 Herb	美洲 America	I(61.5)	IU
	南美蟛蜞菊 <i>Sphagneticola trilobata</i>	草本 Herb	南美洲 South America	I(61)	II
	假臭草 <i>Praxelis clematidea</i>	草本 Herb	南美洲 South America	I(60.5)	IU
	银胶菊 <i>Parthenium hysterophorus</i>	草本 Herb	美洲 America	II(50.5)	IU
	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	草本 Herb	美洲 America	III(48)	IU
	菊芋 <i>Helianthus tuberosus</i>	草本 Herb	北美洲 North America	III(45.5)	II
	革命菜 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	草本 Herb	非洲 Africa	III(44.5)	IU
	胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	III(43)	IU
	加拿大蓬 <i>Erigeron canadensis</i>	草本 Herb	北美洲 North America	III(42.5)	IU
	一年蓬 <i>E. annuus</i>	草本 Herb	北美洲 North America	III(42.5)	IU
	苏门白酒草 <i>E. sumatrensis</i>	草本 Herb	南美洲 South America	III(40)	IU
	白花地胆草 <i>Elephantopus tomentosus</i>	草本 Herb	北美洲 North America	III(41.5)	IU
	钻叶紫菀 <i>Symphytichum subulatum</i>	草本 Herb	北美洲 North America	IV(39.5)	IU
	金腰箭 <i>Synedrella nodiflora</i>	草本 Herb	热带美洲 Tropical America	IV(34.5)	IU
伞形科 Apiaceae	刺芹 <i>Eryngium foetidum</i>	草本 Herb	中美洲 Central America	V(29.5)	II

II: 有意引入; IU: 无意引入。

II: Introduced intentionally; IU: Introduced unintentionally.

引进的最多,有18种,多为草本(9种)和灌木(5种),少为乔木和藤本(各2种),其中习见的经济林树种桉树(*Eucalyptus robusta*),最初是以观赏为目的引进。作为牧草、绿肥或饲料植物引进的种类次之,共有5种。作为食用植物引入的有3种。作为药用植物引入的有3种。作为造林植物引入的有对叶榄李(*Laguncularia racemosa*)、无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)2种,早期作为红树林造林树种引进。作为护坡植物引入的有2种,互花米草和光荚含羞草(*Mimosa bimucronata*),其中互花米草为促淤、护滩、保堤引入。

无意引入32种(50%),几为草本可随人类活动无意传入。随着粮食进口无意引入的如刺苋;随蔬菜或粮食引种进入的如皱果苋(*Amaranthus viridis*);随植物引种特别是园林植物引种带入的如飞扬草(*Euphorbia hirta*),随人类入境旅游或交通工具途径无意引入的革命菜(*Crassocephalum crepidioides*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)等。

2.4 入侵植物等级划分

根据表2的风险评估指标及权重,采用层次分析法对广西北部湾海岸带、海岛地区的外来入侵植物的风险等级进行打分(表3)。64种外来入侵植物风险评估等级得分为26.5~67.5分,根据得分高低,将入侵风险划分为5个等级(I级严重危害、II级较严重危害、III级中度危害、IV轻度危害和V级潜在危害)。其中,I级8种(12.50%)、II级9种(14.06%)、

III级28种(43.75%)、IV级14种(21.88%)和V级5种(7.81%)。

I级严重危害的8种植物是桉树、白花鬼针草(*Bidens pilosa*)、飞机草、凤眼蓝、互花米草、假臭草(*Praxelis clematidea*)、空心莲子草(喜旱莲子草)、南美蟛蜞菊。白花鬼针草在广西海岛及海岸线分布最广,有13处分布,占全部调查总数(22处)的59.09%;其次为假臭草,7处分布;然后依次为桉树(5处)、南美蟛蜞菊(3处)、空心莲子草(3处)、飞机草(2处)、互花米草(2处)和凤眼蓝(1处)。这些物种都呈现单个居群分布面积广、植株数量多、分布密度大等特点。

II级危害的9种植物有马缨丹、光荚含羞草、五爪金龙(*Ipomoea cairica*)、对叶榄李、铺地黍(*Panicum repens*)、大藻、水茄(*Solanum torvum*)、土荆芥和银胶菊,其在广西北部湾海岸带的分布点为:光荚含羞草(8处)、水茄(4处)、马缨丹(3处)、铺地黍(3处)、五爪金龙(2处),其余皆为1处。对叶榄李、大藻、银胶菊和土荆芥尽管只在1处发现,但单个居群的个体数量远大于其他多处分布物种。五爪金龙、大藻、铺地黍、银胶菊的单个居群个体数量虽大,但繁殖能力和传播方式要弱于I级危害植物。而光荚含羞草、马缨丹、水茄尽管多处分布,但单个居群的个体数较少,这与其单一的繁殖特性(有性繁殖)和生物学特性有关。对叶榄李作为造林植物首次引入海南红树林,现已入侵广西北海,但

分布范围多限于红树林区域, 危害程度小于 I 级危害植物。

III 级中度危害有 28 种植物, 草本植物最多(24 种), 灌木 2 种, 乔木 1 种, 藤本 1 种, 隶属于禾本科(4 种)、菊科(8 种)、大戟科(2 种)、苋科(2 种)、茜草科(2 种)及锦葵科、景天科(*Crassulaceae*)、柳叶菜科(*Onagraceae*)、落葵科(*Basellaceae*)、马鞭草科(*Verbenaceae*)、茄科(*Solanaceae*)、莎草科(*Cyperaceae*)、旋花科(*Convolvulaceae*)和豆科各 1 种。其中, 除苏门白酒草(8 处)、皱果苋(8 处)、黄花稔(*Sida szechuensis*, 7 处)、田菁(6 处)、鳢肠(6 处)、飞扬草(5 处)、少花龙葵(*Solanum americanum*, 4 处)等 7 种植物分布较广外, 其余物种仅 1~2 处分布。以上分布范围较广的 7 种植物, 单个居群的密度较小, 数量较少, 但整体数量大, 已达中级危害程度。

IV 级轻度危害植物有 14 种, 除毛马齿苋(*Portulaca pilosa*)、猪屎豆(*Crotalaria pallida*)、钻叶紫菀(*Symphotrichum subulatum*)和蓖麻分布点较多(3~5)外, 其余 10 种植物仅 1~2 处分布, 且多作为观赏、药用植物人为引入。毛马齿苋、钻叶紫菀、金腰箭(*Synedrella nodiflora*)和酢浆草(*Oxalis corniculata*)为无意引入, 且这 4 种植物的种子体积小、数量多, 危害程度目前虽较轻, 但仍需加以预防。其余植物的总体数量比这 4 种植物要少, 危害相对更小。

V 级危害植物共 5 种: 刺芹、泡果苘(*Herissantia crispa*)、赛葵(*Malvastrum coromandelianum*)、双荚决明(*Senna bicapsularis*)和银合欢, 分布点很少。尽管银合欢有 4 处分布, 但植株数量很少, 密度小。这 5 种植物都存在防治天敌等, 危害程度最轻。

2.5 原产地与入侵地环境数据分析

选取 6 种 I 级危害入侵植物鬼针草、假臭草、互花米草、凤眼蓝、空心莲子草、飞机草, 做环境因子分析。从 19 个常见的环境因子中, 选取年平均气温(Bio1, °C)、日平均温差(Bio2, °C)、年温差(Bio7, °C)、年降水量(Bio12, mm)共 4 个因子, 对原产地南、北美洲和入侵地中国之间的环境数据进行方差分析。

假臭草原产地南美洲与入侵地中国在 Bio1、Bio7 上无差异, 而在 Bio2 及 Bio12 上存在显著差异, 表明两地气候存在一定分化, 但假臭草能够适应温度和降水量的较大波动(图 1: A)。凤眼蓝的原产地和入侵地在 Bio12 无显著差异, 而气温环境因子均存在显著差异; Bio1 入侵地为 11.4 °C~24.2 °C, 原产地为 12.0 °C~28.6 °C, Bio2 入侵地为 5.9 °C~12.8 °C, 原产地为 5.9 °C~16.6 °C, 存在较大波动, 表明一定程度上温度因子并不是凤眼蓝入侵的主要限制因子, 相对来说, 降水量更为关键(图 1: B)。其余 4 种植物原产地与入侵地的环境数据均有极显著差异, 表明这些物种不受温度和降水的限制, 即便在差异较大的环境下, 仍能够广泛生长定殖。

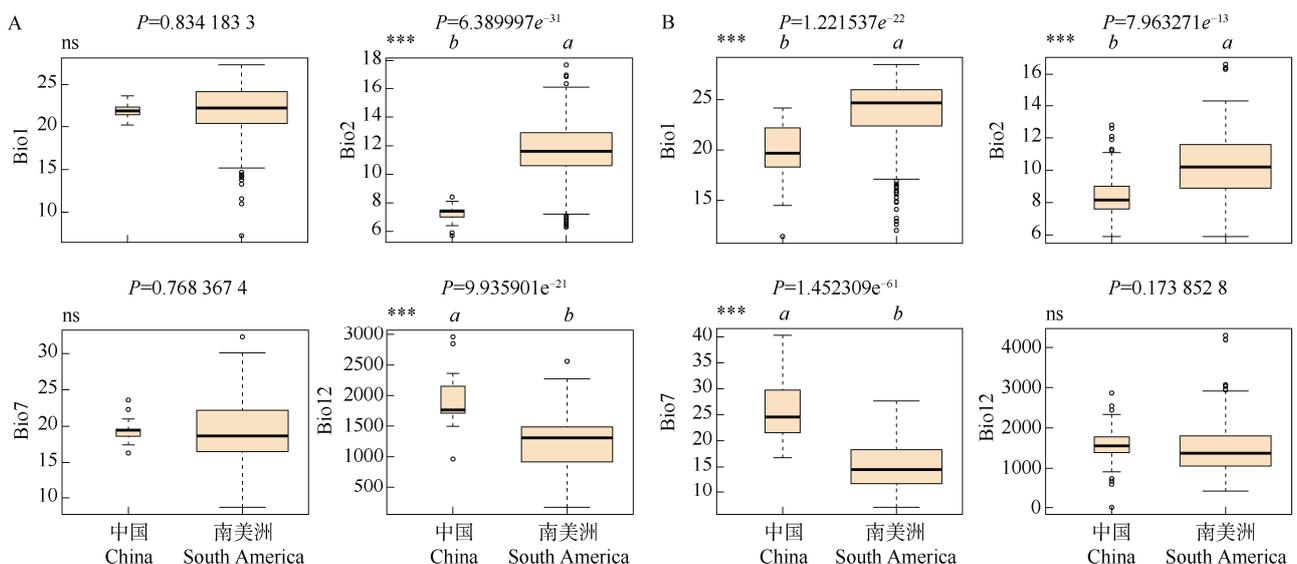


图 1 假臭草(A)和凤眼蓝(B)环境数据的方差分析。***: $P < 0.001$; **: $P < 0.01$; ns: $P > 0.05$

Fig. 1 Variance analysis of environmental data of *Praxelis clematidea* (A) and *Eichhornia crassipes* (B). ***: $P < 0.001$; **: $P < 0.01$; ns: $P > 0.05$

2.6 与邻近地区的比较

为探讨相邻地区入侵植物的相关性, 将广西北部湾海岸带、海岛的入侵植物与已报道外来入侵植物的广西中越边境^[20]、广西^[8]、广东^[21]、海南^[21]、福建^[21]、华南地区^[22]、云南^[23]、西藏^[24]做比较(表4)。广西北部湾海岸带、海岛地区与广西中越边境内陆地区相比较, 两地入侵植物原产地来自美

洲的比例都超过60%。将广西与广东、海南、福建、云南地区的外来入侵植物进行比较, 表明在物种数量、生活型、原产地方面具有相似性。在数量上, 广西外来入侵植物少于广东、海南、福建地区。在原产地来自美洲占比方面, 广西、广东、海南、华南地区都大于60%, 并且越靠近赤道, 比例越高; 云南、西藏低于60%。

表4 广西海岛入侵植物与其他邻近地区的相似性比较

Table 4 Similarity of invasive plants in Guangxi islands with other adjacent areas

地区 Area	纬度 (N) Latitude	种数 Number of species	来自美洲占比 % from America	草本占比 % of herb
广西北部湾 Beibu Gulf, Guangxi	21°53'~21°89'	64	76.56	75.00
广西中越边境 China-Vietnam Border in Guangxi	-	121	68.66	84.30
广西 Guangxi	20°54'~26°24'	180	-	-
广东 Guangdong	20°09'~25°31'	231	64.07	76.19
海南 Hainan	18°10'~20°9'	227	69.60	66.52
华南地区 South China	18°10'~28°20'	382	61.58	71.73
福建 Fujian	23°33'~28°19'	271	59.04	-
云南 Yunnan	24°08'~29°15'	247	55.00	54.66
西藏 Tibet	26°40'~36°30'	112	48.61	93.75

3 结论和讨论

3.1 入侵物种组成与生活型

目前, 广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物已达64种, 隶属28科55属。由于岛屿生态系统内物种贫乏, 没有被占领的空生态位较多, 因而海岛地区比大陆地区更容易被外来种入侵^[25]; 且外来植物易受海边环境影响, 通过风媒、水媒传播方式, 借助自然条件的力量, 易向附近海岸带地区蔓延, 这使得广西北部湾海岸带及邻近海岛外来植物入侵较为严重。

按物种组成分析, 菊科是该地带外来入侵植物中的第一大科, 且危害较为严重, 共有15种。其中白花鬼针草、假臭草、南美蟛蜞菊等的广泛分布, 可能与菊科植物的生物学特性有关, 如种子小、数量大、繁殖能力强, 且瘦果小而具冠毛, 种子借助冠毛, 可以随风和气流飞扬, 广泛传播^[26]。并且大部分菊科植物具有化感作用, 可抑制其他种的生长。按照生活型分析, 草本植物占比最大。这可能与草本植物适应性强、种子小且易传播有关。

3.2 原产地与入侵地

在64种外来入侵植物中, 原产地为美洲(包括北美洲、热带美洲、南美洲、拉丁美洲、加勒比海、巴西)的植物占比更多(76.56%), 与中国入侵植物的

美洲占比52%。这可能由于中国沿海地区与美洲地区经济贸易、人为活动频繁导致, 并且也与气候环境因子有关。Liu等^[27]对全球434种入侵生物本地和引进地的气候生态位进行了研究, 认为大多数入侵物种很大程度上保存其气候生态位。但近年来也有研究表明, 大多数入侵发生在异质环境中^[28], 本文对6种植物的原产地和入侵地的温度和降水数据进行差异分析, 结果显示两地在气温上都存在较大波动或显著分化, 大多数物种在降水量上也存在显著差异, 表明对于这些I级危害入侵植物而言, 异质环境并不会限制其入侵。

另外, 从地理分布来看, 美洲与亚洲地区远隔重洋, 物种组成差异较大, 一旦某个物种入侵成功就没有天敌, 从而导致其扩散。本地物种的分布取决于环境变化和入侵物种的综合影响, 并且在种群建立期间, 在环境压力下具有较大的可塑性^[29]。因此在以后的植物引种中, 要特别注意来自美洲新大陆的植物, 了解其生物学特性, 切忌盲目引种。

3.3 与邻近地区的比较

以某一地区或城市等为地理单元进行外来种的调查, 不仅可揭示区域尺度上外来种的危害现状, 同时还可通过整合数据来探究大尺度上外来种的空间分布特点以及影响因素, 对预测入侵的影响和入侵种的管理具有重要意义。广西北部湾海岸

带、海岛地区的外来植物,与广西中越边境内陆地区相比较,两地入侵植物来自美洲的比例都超过 60%,这可能由于两地与美洲地区经济贸易、人为活动频繁,促进了外来植物的入侵;数量上中越边境地区较多,这可能与广西和越南接壤有关。而将广西的外来入侵植物与广东、海南、福建地区的相比较,数量上广西的外来入侵植物少于广东、海南、福建地区,这可能是这 3 个地区的海上贸易和人为活动更为频繁,促进了外来入侵植物的自然传播;原产地来自美洲的,广西、广东、海南、华南地区都大于 60%,云南、西藏低于 60%,这可能由于广西、广东、海南纬度相近,与美洲地区具有相似的气候环境,云南与西藏地区不具海洋季风性气候。也可看出,入侵植物的数量、原产地和生活型上,广西、广东、海南及华南地区都呈现出相似性,也从侧面反映入侵植物分布的广泛性以及草本植物传播能力强的特点。广西海岛地区植物与广西中越边境地区外来入侵植物的高度相似性,以及数量上低于中越边境,可推测,从中越边境自然跨入广西海岛及沿岸,可能是其入侵的路线之一。此外,基于广西、广东、海南、华南地区,入侵植物来自美洲的比例都表现出大于 60% 的高度相似性,从海南跨入广西海岛及沿岸,可能是这些外来植物入侵的另一条路线。

3.4 防控建议

中国外来入侵植物以东南沿海等地最为严重^[4],广西北部湾海岸带、海岛作为中国外来入侵植物的前沿阵地,应做好防控工作。目前,外来入侵植物在广西海岸呈现出种类多、分布广和危害重等特征,并且存在调查研究工作缺乏、防控意识和措施薄弱等问题。

针对上述分析结果中入侵危害最严重的 8 种植物(桉树除外,经济用材林,海岸边已大面积种植)提出以下防控建议。令人头痛的植物鬼针草目前尚未查到可行的防治办法,建议先人力清除。假臭草的防治可尝试使用鬼针草的浸提液对其生长产生强烈的抑制,或喷洒除草剂草铵膦单剂和草甘膦异丙胺盐+2 甲 4 氯钠复配剂进行化学防治^[30],必要时可人力清除(物理防治)。互花米草和凤眼莲在广西北部湾海岸带、海岛虽只在 2~3 处分布,但应提前预防,避免向其他地方蔓延。已有互花米草分布区域,可使用草甘膦、草铵膦复配处理,致死率可达 90%^[31];可在受污染水域放养水葫芦象甲虫、水葫

芦螟蛾等以凤眼莲为食的生物,建立种群,对凤眼莲实施长期控制^[32]。而飞机草、南美蟛蜞菊、空心莲子草目前虽分布不多,但单个居群的植株数量多,分布密度大。在飞机草和南美蟛蜞菊影响严重的区域,宜采用人工或机械清除的办法。可使用曲纹叶甲控制空心莲子草的生长。

对于北部湾海岸带、海岛外来入侵植物的现状,提出以下建议:(1) 应建立严谨并准确的中国外来入侵植物数据库,目前发布的关于外来入侵植物的相关书籍和文献并不十分准确,存在辨别错误和鉴定错误的情况^[33];(2) 应加大宣传力度,提高公众的防范意识,公众对于外来入侵植物的概念比较模糊,对其危害性的认识不够;(3) 应加强海关、码头等地方的检验检疫工作,以降低外来植物的入侵风险系数,根据推测的两条可能的入侵线路,一方面可加强与海南关口的合作,在海南重要港口码头、广西涠洲岛及北部湾地区等重要码头,加强检验检疫工作;另一方面可考虑在中越边界地区增设检验检疫点加强检疫;(4) 充分利用现有的科研成果,加强入侵植物的研究,进行成本-收益论证,开发入侵物种的利用价值^[34]。

参考文献

- [1] MA J S. The Checklist of the Chinese Invasive Plants [M]. Beijing: Higher Education Press, 2013: 1–292. [马金双. 中国入侵植物名录 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 1–292.]
- [2] LIU W, YANG Z, YAN J. Talking about the hazards and prevention measures of biological invasion [J]. J Anhui Agric Sci, 2015, 43(26): 104–107. [刘伟, 杨震, 晏娟. 生物入侵的危害与防治措施 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43(26): 104–107. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2015.26.037.]
- [3] GE F. Modern Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2008: 515–517. [戈峰. 现代生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 515–517.]
- [4] YAN X L, SHOU H Y, MA J S. The problem and status of the alien invasive plants in China [J]. Plant Divers Resour, 2012, 34(3): 287–313. [闫小玲, 寿海洋, 马金双. 中国外来入侵植物研究现状及存在的问题 [J]. 植物分类与资源学报, 2012, 34(3): 287–313. doi: 10.3724/SP.J.1143.2012.12025.]
- [5] International Union for Conservation of Nature (IUCN). 100 of the world's worst invasive alien species [EB/OL]. (2016-1-29) [2021-09-01]. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2000-126.pdf>.
- [6] Gvangisih Bouxcuengh Swcigih Haijyangziz. Island protection plan

- of Guangxi Zhuang Autonomous Region (2011—2020) [EB/OL]. (2014-06-05) [2021-09-01]. [广西壮族自治区海洋局. 广西壮族自治区海岛保护规划(2011年—2020年) [EB/OL]. (2014-06-05) [2021-09-01]. http://hyj.gxzf.gov.cn/zwgk_66846/hygl/t7663508.shtml.]
- [7] TANG S C, LÜ S H, HE C X, et al. The alien invasive plants in Guangxi [J]. *Guihaia*, 2008, 28(6): 775–779. [唐赛春, 吕仕洪, 何成新, 等. 广西的外来入侵植物 [J]. *广西植物*, 2008, 28(6): 775–779. doi: 10.3969/j.issn.1000-3142.2008.06.014.]
- [8] TANG S C, WEI C Q, LÜ S H, et al. Research on Alien Invasive Plants in Guangxi [M]. Nanning: Guangxi Science & Technology Publishing House, 2019: 1–429. [唐赛春, 韦春强, 吕仕洪, 等. 广西外来入侵植物研究 [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2019: 1–429.]
- [9] DENG X M, SONG S Q. Research status and prospect of Guangxi coastal zone [J]. *Ocean Devel Manag*, 2011, 28(7): 32–35. [邓晓玫, 宋书巧. 广西海岸带研究现状及展望 [J]. *海洋开发与管理*, 2011, 28(7): 32–35. doi: 10.3969/j.issn.1005-9857.2011.07.008.]
- [10] HE R, HUANG M L, LI Y L, et al. Climate characteristic and climatic change regularity in nearshore and island of Guangxi in recent 50 years [J]. *J Meteor Res Appl*, 2010, 32(2): 12–15. [何如, 黄梅丽, 李艳兰, 等. 近50年来广西近岸及海岛的气候特征与气候变化规律 [J]. *气象研究与应用*, 2010, 32(2): 12–15. doi: 10.3969/j.issn.1673-8411.2010.02.004.]
- [11] OU J. Study on risk assessment for alien species in Xiamen [D]. Xiamen: Xiamen University, 2008. [欧健. 厦门外来物种入侵风险评估研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2008.]
- [12] LU Q Y. Research on risk assessment for typical alien species in the South China Sea coastal [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013. [陆琴燕. 南海近岸海域典型外来物种入侵风险评估研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.]
- [13] FEIJÓ A, GE D Y, WEN Z X, et al. Exploring GBIF database and extracting climate data from georeferenced localities with r software [J]. *Bio-Protocol*, 2021: e1010609. doi: 10.21769/BioProtoc.1010609.
- [14] FICK S E, HIJMANS R J. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas [J]. *Int J Climatol*, 2017, 37(12): 4302–4315. doi: 10.1002/joc.5086.
- [15] MALDONADO C, MOLINA C I, ZIZKA A, et al. Estimating species diversity and distribution in the era of Big Data: To what extent can we trust public databases? [J]. *Glob Ecol Biogeogr*, 2015, 24(8): 973–984. doi: 10.1111/geb.12326.
- [16] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, the Chinese Academy of Sciences. Notice on the release of the first list of invasive alien plants in China [EB/OL]. (2003-01-10) [2021-09-01]. [国家环保总局, 中国科学院. 关于发布中国第一批外来入侵物种名单的通知 [EB/OL]. (2003-01-10) [2021-09-01]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62285.htm.]
- [17] Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Notice on the release of the second list of invasive alien plants in China [EB/OL]. (2010-01-07)(2021-09-01). [中华人民共和国生态环境部. 关于发布中国第二批外来入侵物种名单的通知 [EB/OL]. (2010-01-07)(2021-09-01). http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201001/t20100126_184831.htm.]
- [18] The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APGIV [J]. *Bot J Linn Soc*, 2016, 181(1): 1–20. doi: 10.1111/boj.12385.
- [19] JIANG H, FAN Q, LI J T, et al. Naturalization of alien plants in China [J]. *Biodiv Conserv*, 2011, 20(7): 1545–1556. doi: 10.1007/s10531-011-0044-x.
- [20] LI X Q, TANG S C, WEI C Q, et al. Alien invasive plants in the Sino-Vietnamese border area, Guangxi [J]. *J Biosafety*, 2019, 28(2): 147–155. [李象钦, 唐赛春, 韦春强, 等. 广西中越边境的外来入侵植物 [J]. *生物安全学报*, 2019, 28(2): 147–155. doi: 10.3969/j.issn.2095-1787.2019.02.012.]
- [21] ZENG X F. Present and Future: Proceedings of the 15th Member Congress of the Chinese Botanical Society and the 80th Annual Academic Conference [C]. Nanchang: Chinese Botanical Society, 2013: 42. [曾宪锋. 现在与未来——中国植物学会第十五届会员代表大会暨八十周年学术年会论文集 [C]. 南昌: 中国植物学会, 2013: 42.]
- [22] ZENG X F. Naturalized Plants and Invasive Plants in South China [M]. Beijing: Science Press, 2018: 20–34. [曾宪锋. 华南归化植物暨入侵植物 [M]. 北京: 科学出版社, 2018: 20–34.]
- [23] ZHANG Q X, LI D B, XIA S Y, et al. Biological trait of alien invasive plants in Yunnan Province [J]. *Guihaia*, 2018, 38(3): 269–280. [张秋霞, 李德宝, 夏顺颖, 等. 云南入侵植物的生物学性状初步研究 [J]. *广西植物*, 2018, 38(3): 269–280. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201703038.]
- [24] QIU X Y, LI H C, LUO J. Analysis of flora, life form and reproductive characteristics of invasive plants in Tibet [J]. *J Plateau Agric*, 2019, 3(6): 623–631. [仇晓玉, 李洪池, 罗建. 西藏外来入侵植物区系、生活型及繁殖特性 [J]. *高原农业*, 2019, 3(6): 623–631. doi: 10.19707/j.cnki.jp.a.2019.06.005.]
- [25] LI B, XU B S, CHEN J K. Perspectives on general trends of plant invasions with special reference to alien weed flora of Shanghai [J]. *Biodiv Sci*, 2001, 9(4): 446–457. [李博, 徐炳声, 陈家宽. 从上海外来杂草区系剖析植物入侵的一般特征 [J]. *生物多样性*, 2001, 9(4): 446–457. doi: 10.3321/j.issn:1005-0094.2001.04.018.]

- [26] ZHU S X, QIN H L, CHEN Y L. Alien species of *Compositae* in China [J]. *Guihaia*, 2005, 25(1): 69–76. [朱世新, 覃海宁, 陈艺林. 中国菊科植物外来种概述 [J]. *广西植物*, 2005, 25(1): 69–76. doi: 10.3969/j.issn.1000-3142.2005.01.014.]
- [27] LIU C L, WOLTER C, XIAN W W, et al. Most invasive species largely conserve their climatic niche [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2020, 117(38): 23643–23651. doi: 10.1073/pnas.2004289117.
- [28] LUTSCHER F, MUSGRAVE J A. Behavioral responses to resource heterogeneity can accelerate biological invasions [J]. *Ecology*, 2017, 98(5): 1229–1238. doi: 10.1002/ecy.1773.
- [29] SHARMA A, DUBEY V K, JOHNSON J A, et al. Dendritic prioritization through spatial stream network modeling informs targeted management of Himalayan riverscapes under brown trout invasion [J]. *J Appl Ecol*, 2020, 58(11): 2415–2426 doi: 10.1111/1365-2664.13997.
- [30] MA Y L, QIN J L, MA Y F, et al. Effects of several herbicides on invasive weeds *Eupatorium catarium* Veldkamp in *Citrus* orchard [J]. *Agrochemicals*, 2013, 52(6): 444–446. [马永林, 覃建林, 马跃峰, 等. 几种除草剂对柑橘园入侵性杂草假臭草防除效果 [J]. *农药*, 2013, 52(6): 444–446. doi: 10.16820/j.cnki.1006-0413.2013.06.020.]
- [31] ZHANG H, XIAO H, ZHOU B, et al. Control effects of herbicides on invasive cordgrass *Spartina alterniflora* in coastal wetlands [J]. *J Appl Oceanogr*, 2022, 41(1): 78–85. [张慧, 肖辉, 周滨, 等. 除草剂对滨海外来物种互化米草除控效果 [J]. *应用海洋学学报*, 2022, 41(1): 78–85. doi: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2022.01.010.]
- [32] LI L, LIN Y B, LIU C. Review on biological characteristics and management strategies of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2018, 46(3): 60–62. [李礼, 林艺滨, 刘灿. 入侵植物凤眼莲的生物学特性及生态管理对策 [J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(3): 60–62. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2018.03.021.]
- [33] YAN J, YAN X L, LI H R, et al. Composition, time of introduction and spatial-temporal distribution of naturalized plants in east China [J]. *Biodiv Sci*, 2021, 29(4): 428–438. [严靖, 闫小玲, 李惠茹, 等. 华东地区归化植物的组成特征、引入时间及时空分布 [J]. *生物多样性*, 2021, 29(4): 428–438. doi: 10.17520/biods.2020335.]
- [34] WANG Z, DONG S Y, LUO Y Y. Invasive plants in Guangzhou, China [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2008, 16(1): 29–38. [王忠, 董仕勇, 罗燕燕, 等. 广州外来入侵植物 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2008, 16(1): 29–38. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2008.01.005.]