广西植物 Guihaia Sept. 2025, 45(9): 1563-1577 http://www.guihaia-journal.com

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202404015
蔡洪月, 蒲林, 童升洪, 等, 2025. 西沙群岛的有害植物及其防控策略［J］. 广西植物, 45(9): 1563-1577.
CAI HY, PU L, TONG SH, et al., 2025. Pernicious plants in the Xisha Islands and their control strategies［J］. Guihaia, 45(9): 1563-1577.

西沙群岛的有害植物及其防控策略

蔡洪月[1,2], 蒲　林[1], 童升洪[1,3], 陈　权[4], 刘东明[1], 简曙光[1*]

(1. 中国科学院华南植物园, 中国科学院海岛与海岸带生态修复工程实验室, 广州 510650; 2. 深圳职业技术大学, 广东 深圳 518055; 3. 广东东篱智云科技有限公司, 广州 510715; 4. 海南大学 生态学院, 海口 570228)

摘　要: 西沙群岛是我国南海西北部的一群热带珊瑚岛屿,其自然环境独特且恶劣、生物多样性较低、生态系统极为脆弱。有害植物是西沙群岛植被退化的重要因素之一。为了开展西沙群岛有害植物的种类、分布及危害程度的调查研究,该文对西沙群岛有植被分布的 24 个岛屿进行了野外实地调查,并结合相关文献资料及评价体系,对西沙群岛有害植物的种类组成、分布、生长特性和危害程度等进行了全面的调查分析。结果表明:(1)西沙群岛现存有害植物共 10 科 20 属 26 种,其中菊科、豆科、马鞭草科、樟科 4 个科的植物种类数量占有害植物总数的 53.8%。(2)根据生长、分布及危害程度情况,将西沙群岛的有害植物分为 3 个危害等级,其中 1 级危害植物有无根藤、飞机草、孪花蟛蜞菊、银合欢、鬼针草、羽芒菊 6 种,主要分布在永兴岛、东岛、琛航岛和珊瑚岛。(3)有害植物严重程度与岛屿上的植物种数和岛屿面积密切相关。因此,建议对西沙群岛的有害植物进行长期监测,对已造成严重危害的有害植物制定科学的防控策略,包括加强检验检疫、物理清除、化学防治、替代防控和宣传教育等。该研究结果为西沙群岛植被和生态系统的保护、恢复和管理提供了重要基础资料,为我国热带珊瑚岛礁陆域生态系统健康、安全及可持续发展提供了科技支撑。

关键词: 有害植物, 入侵植物, 西沙群岛, 热带珊瑚岛, 控制策略, 风险评估

中图分类号: Q948　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3142(2025)09-1563-15

Pernicious plants in the Xisha Islands and their control strategies

CAI Hongyue[1,2], PU Lin[1], TONG Shenghong[1,3], CHEN Quan[4], LIU Dongming[1], JIAN Shuguang[1*]

(1. *CAS Engineering Laboratory for Vegetation Ecosystem Restoration on Islands and Coastal Zones*, *South China Botanical Garden*, *Chinese Academy of Sciences*, Guangzhou 510650, China; 2. *Shenzhen Polytechnic University*, Shenzhen 518055, Guangdong, China; 3. *Guangdong Dongli Zhiyun Technology Co.*, *Ltd.*, Guangzhou 510715, China; 4. *School of Ecology*, *Hainan University*, Haikou 570228, China)

收稿日期: 2024-06-28　**接受日期**: 2024-09-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3103700); 广东省科技计划项目(2019B21201005); 深圳职业技术大学科研启动项目(6022312013K)。

第一作者: 蔡洪月(1990—),博士研究生,讲师,主要从事海岛植物生态学相关研究,(E-mail)caihongyue@ szpu.edu.cn。

[*] **通信作者**: 简曙光,博士,研究员,主要从事植物生态学与珍稀濒危植物的保护生物学相关研究,(E-mail)jiansg@ scbg.ac.cn。

Abstract: The Xisha Islands are a group of tropical coral islands in the northwest of the South China Sea. In these islands, the natural environment is unique and harsh, the biodiversity is low, and the ecosystem is extremely fragile. Threat from pernicious plants is one of the important factors for vegetation degradation in the Xisha Islands. It is necessary to investigate the pernicious plant species and their distribution, and the extent of harm in the Xisha Islands. In this research, field investigation on the 24 islands with vegetation in the Xisha Islands was conducted, and the species composition, distribution, growth characteristics and hazard degree of pernicious plants were comprehensively investigated and analyzed in combination with relevant literature and evaluation system. The results were as follows: (1) There were 26 species of pernicious plants belonging to 20 genera and 10 families in the Xisha Islands, of which the number of plant species belonging to four families of Asteraceae, Fabaceae, Verbenaceae and Lauraceae, accounted for 53.8% of the total number species of pernicious plants. (2) According to their growth, distribution, and hazard degree, pernicious plants could be classified into three hazard levels. The Level 1 of pernicious plants included *Cassytha filiformis*, *Chromolaena odorata*, *Wollastonia biflora*, *Leucaena leucocephala*, *Bidens pilosa* and *Tridax procumbens*, mainly distributed in Yongxing Dao, Dong Dao, Chenhang Dao, and Shanhu Dao. (3) The severity of pernicious plants was closely related to the total number of plant species and area of the island. The life form of pernicious plants in the Xisha Islands was mainly terrestrial herbs, accounting for 57.7%. The pernicious plants mainly came from the Americas, with a similar proportion of natural spread, unintentional introduction, intentional introduction sources. Based on the above results, it is suggested to conduct long-term monitoring of pernicious plants in the Xisha Islands, and formulate scientific prevention and control strategies for pernicious plants that have caused serious harm, including strengthening inspection and quarantine, physical removal, chemical control, alternative control, and publicity and education, etc. The research results provide important basic data, scientific and technological support for the protection, health and sustainable development of the vegetation and ecosystems in the Xisha Islands.

Key words: pernicious plants, invasive plants, the Xisha Islands, tropical coral islands, control strategy, risk assessment

西沙群岛是位于我国南海北部的一群热带珊瑚岛屿。这些岛屿面积小、土壤结构差、盐碱程度高、生物多样性低、生态系统极为脆弱,植被在受到有害植物的危害时,往往会遭受到更大破坏。近年来,本研究团队对西沙群岛有植被分布的 24 个岛屿(含礁、沙洲)的植被进行了调查研究,发现西沙群岛的部分原生植被已经表现出明显的退化特征,退化的植物群落林下均有外来入侵植物或有害植物(Luo et al.,2024)。前期在对西沙群岛植物与植被的调查研究中,童毅等(2013)在分析西沙群岛的植物多样性时,对外来竞争者做了一些分析;邓双文(2017)在研究西沙群岛植物传播机理时,对外来植物的种类和传播机理进行过一些讨论。颜碧玥等(2020)研究发现本地有害植物孪花蟛蜞菊(*Wollastonia biflora*)在热带珊瑚岛屿原生植被中的扩张,改变了陆生软体动物的形态、密度与种群结构,不同软体生物类群表现出不同的响应策略。Cai 等(2020)研究发现本地有害植物孪花蟛蜞菊在西沙群岛的危害性要大于外来入侵植物飞机草(*Chromolaena odorata*)和寄生性有害植物无根藤(*Cassytha filiformis*)。

外来生物入侵是指生物由原生地经自然或人为的途径侵入到另一个新生境中,并快速生长繁衍,不仅对入侵地的生物多样性、生态服务功能、农林牧渔业生产等造成危害和经济损失,而且威胁人类生存环境甚至导致生态灾难的过程(万方浩等,2002;郑景明和马克平,2010)。但是,并不是所有的外来植物都会成为入侵植物,也并不是所有的原生植物都不会产生危害。国内著名的生态学家彭少麟教授在对西樵山植被的研究中发现,部分植物(尤其是藤本植物)的快速生长已对森林植被产生危害,致使西樵山国家森林公园森林的生态服务功能下降,这些植物既有五爪金龙(*Ipomoea cairica*)、南美蟛蜞菊(*Sphagneticola trilobata*)等外来入侵植物,也有野葛(*Pueraria montana* var. *lobata*)、伞花茉栾藤(山猪菜)(*Camonea umbellata*)等本地植物,他们将这类植物统一定义为有害植物(pernicious plant),即对森林

群落的稳定和生态服务功能有害的植物(虞依娜等,2009a,b)。在国外一些类似的研究中,大多以危害性杂草(hazard weed)来定义对群落有害的本地植物和外来入侵植物,它们具有可度量的经济危害或环境危害或两者兼而有之(Bryson & Carter,1993;郑景明和马克平,2010;Hussain et al.,2016;Kamaraj et al.,2020)。

目前,国内外在对我国西沙群岛本地有害植物和外来入侵植物的种类组成、分布情况和危害程度等方面尚未见有全面调查分析的报道,这不仅限制了对其防控策略的制定,而且还制约了西沙群岛植被与生态系统的保护与可持续发展。因此,本研究以西沙群岛为研究区域,采用实地踏查和样方调查的方法,并结合文献资料进行分析评价,同时对我国西沙群岛有害植物的种类组成、分布、入侵途径及危害状况等进行调查研究,旨在为西沙群岛植被和生态系统的保护、恢复及管理提供数据资料,为我国热带珊瑚岛礁陆域生态系统健康、安全以及可持续发展提供科技支撑。本研究拟探讨:(1)西沙群岛有害植物的种类组成与危害程度;(2)有害植物的危害程度与哪些因素有关;(3)基于危害现状应制定的防控策略。

1　材料与方法

1.1 研究地概况

西沙群岛位于我国南海中西部(111°11′—112°54′ E,15°46′—17°08′ N),距海南岛三亚港 330 km(180 海里),陆地总面积约 10 km^2,由 45 个岛、礁、沙洲组成,其中岛屿 22 个、沙洲 7 个。西沙群岛可分为东、西部两群岛:东部为宣德群岛,由宣德环礁、东岛环礁、浪花礁和嵩焘滩组成;西部为永乐群岛,包括永乐环礁、北礁、华光礁、玉琢礁、盘石屿和中建岛。除石岛海拔为 12.5 m 以外,其余各岛海拔均在 10 m 以下;除永兴岛、东岛和中建岛面积超过 1.5 km^2以外,其余各岛面积均在 0.5 km^2以内。西沙群岛成土母质比较单纯,除高尖石的成土母质是火山岩以外,其余各岛屿均由珊瑚石灰岩、石灰质腐殖土和冲积珊瑚砂组成,富含钙和磷质,缺乏黏粒和氮、硅、铁、铝等。土壤盐分含量高、保水能力差。西沙群岛地处低纬度,属于热带海洋季风性气候,东北和西南季风盛行,雨量充沛,但季节分布不均匀,蒸发量大,存在季节性干旱,日照时数长,气温高而稳定(广东省植物研究所西沙群岛植物调查队,1977)。

1.2 研究方法

2020 年 9 月,我们对西沙群岛永兴岛、石岛、东岛、赵述岛、西沙洲、中建岛、晋卿岛、琛航岛、广金岛、珊瑚岛、羚羊礁、金银岛、甘泉岛、鸭公岛、银屿和全富岛 16 个有植物分布的海岛进行了野外实地调查,重点调查了有害植物的种类组成、分布、生长特性和危害程度等。而对于因故未能登岛的 8 个小岛(北岛、南岛、中岛、南沙洲、中沙洲、北沙洲、石屿和盘石屿),我们使用本研究团队于 2012—2016 年实地调查这 8 个岛屿有害植物的数据。野外调查方法主要参照《海岛调查技术规程》(国家海洋局 908 专项办公室,2005)的要求,基于以往调查数据,以环岛踏勘和典型植被样方调查为主,全面考察,并记录有害植物的资料。通过查阅相关文献和标本鉴定,对西沙群岛的有害植物种类进行统计,列出西沙群岛的有害植物名录,如表 1 所示。

本研究根据有害植物在西沙群岛的实际危害情况,并结合“中国外来入侵物种信息系统”(https://www.plantplus.cn/ias/)中对外来入侵植物的危害分级,将西沙群岛有害植物的危害等级划分为 3 级:1 级,恶性危害类,已对岛上的原生植被产生了严重危害;2 级,一般危害类,在西沙群岛的局部地区表现出入侵危害,并且在大陆地区已出现较大的危害性;3 级,有待观察类,在大陆地区已表现出一定的入侵性,但在西沙群岛尚未表现出危害性(闫小玲等,2014)。

使用 Microsoft Office Excel 2013 软件对数据进行初步整理分析。使用 R 语言软件 stats 程序包中的 lm(Fitting Linear Models)公式,对 1 级危害植物的危害面积和相关因素指标进行线性回归,以检验哪些指标与 1 级危害植物的危害面积呈现较高的敏感性和一致性。使用 Adobe Photoshop 软件对图片进行排版和拼合。

2　结果与分析

2.1 有害植物的种类组成

通过对各个岛礁植物资源的详细调查,确定西沙群岛现存有害植物 10 科 20 属 26 种。在这些入侵植物中,飞机草、马缨丹(*Lantana camara*)、蒺

藜草(*Cenchrus echinatus*)、刺苋(*Amaranthus spinosus*)、反枝苋(*A. retroflexus*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、假臭草(*Praxelis clematidea*)、光荚含羞草(*Mimosa bimucronata*)属于我国生态环境部公布的四批40种外来入侵植物(国家环保总局,2003;环境保护部,2010;环境保护部 中国科学院,2014,2016)。另外,南美蟛蜞菊、飞机草、银合欢(*Leucaena leucocephala*)、马缨丹4种植物被IUCN列入世界最有害的100种外来入侵植物(Lowe et al.,2000)。

菊科(Asteraceae)、豆科(Fabaceae)、马鞭草科(Verbenaceae)和樟科(Lauraceae)4个科的有害植物构成了西沙群岛有害植物种数的主体,在26种有害植物中,菊科6种、豆科5种、马鞭草科2种、樟科1种,总计14种,这些植物种数占西沙群岛有害植物总数的53.8%(图1);在其他12种植物中,苋科(Amaranthaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)各3种,禾本科(Poaceae)、夹竹桃科(Apocynaceae)各2种,西番莲科(Passifloraceae)、仙人掌科(Cactaceae)各1种(表1)。从有害植物种的数量和危害程度来看,菊科植物和豆科植物危害最为严重。闫小玲等(2014)的统计结果显示,我国分别有37种(菊科)、28种(豆科)外来入侵植物产生了较为严重的危害,其中5种菊科植物和9种豆科植物已经存在于西沙群岛的部分岛屿。另外,我国原产的菊科植物孪花蟛蜞菊也对岛上的原生植被造成了严重威胁(图2:B)。

2.2 有害植物的危害状况

本次对西沙群岛有害植物的调查结果显示,1级危害6种、2级危害6种、3级危害14种(表1、表2),分别占总数的23.1%、23.1%、53.8%。

造成1级危害的植物有无根藤(图2:A)、孪花蟛蜞菊(图2:B)、飞机草(图2:C)、羽芒菊(*Tridax procumbens*)、鬼针草、银合欢,其中孪花蟛蜞菊和无根藤为中国原产的本地种。这些植物生长速度快、分布范围广,可以通过化感物质、遮蔽树冠等途径与原生植物竞争营养物质和生存空间,形成单优群落危害原生植被的群落稳定性。以孪花蟛蜞菊为例,孪花蟛蜞菊为菊科蟛蜞菊属的多年生阳生性攀援状草本,茎粗壮,本次调查发现在西沙群岛其攀缘茎的直径可达2.5 cm,并且呈现出高度的木质化,长度可在8 m以上。孪花蟛蜞菊生长迅速,通过林窗向原生植被群落扩张,并攀附在原生乔灌木的树冠上,遮蔽了林冠,最终导致原生植物衰退甚至死亡(图2:B)。羽芒菊主要分布于绿化带和建筑施工迹地,依靠其强大的有性繁殖和无性繁殖能力迅速占领生境,严重威胁园林绿化栽培植物。银合欢可能为某些海岛引入的绿化植物,但在珊瑚岛的很多地方,银合欢形成单优群落,其林下空旷、伴生物种极少。

造成2级危害的植物有马缨丹、蒺藜草、假臭草、南美蟛蜞菊、龙珠果(*Passiflora foetida*)(图2:D)、仙人掌(*Opuntia dillenii*)6种,大多伴随人为活动出现,主要分布在建筑迹地、人工林、绿化带等生境,它们造成的危害比较有限,大多为局部入侵,只在局部造成危害。这些植物中一部分是作为珊瑚岛的绿化植物引入,如南美蟛蜞菊为椰林的林下地被植物,但在东岛的野牛塘周边,南美蟛蜞菊的入侵导致了毛马齿苋(*Portulaca pilosa*)、海马齿(*Sesuvium portulacastrum*)、羽状穗砖子苗(*Cyperus javanicus*)等原生植被的退化,降低了生物多样性和藤草群落的稳定性。

造成3级危害的植物有望江南(*Senna occidentalis*)、反枝苋、猩猩草(*Euphorbia cyathophora*)、土牛膝(*Achyranthes aspera*)、长春花(*Catharanthus roseus*)、假马鞭(*Stachytarpheta jamaicensis*)等14种。造成3级危害的部分植物为栽培植物逸为野生或归化种,个体较为常见,难以形成单优群落。虽然这些物种在大陆地区对原生植被造成了一定的危害,但在西沙群岛尚未造成入侵威胁。从另一个角度来讲,在热带珊瑚岛这个特殊生境中,植物定居生长需要强大的适应能力,部分造成3级危害的外来植物也是热带珊瑚岛植被的重要组成部分。

2.3 有害植物的危害面积及影响因素

通过对西沙群岛有害植物的岛屿分布情况分析发现,有害植物超过15种的岛屿有永兴岛(24种)、金银岛(18种)、琛航岛(16种)、珊瑚岛(16种)和东岛(16种)(表2)。通过简单线性模型对各个岛屿有害植物的危害面积与该岛屿有害植物种数、1级危害植物种数、有害植物占全部植物的比例、岛屿面积、岛上全部植物种数的相关性分析结果(图3)显示,有害植物危害的严重程度与岛屿上的植物种数(图3:E)和岛屿面积(图3:D)密切相关。

表 1　西沙群岛的有害植物名录

Table 1　Checklist of pernicious plants in the Xisha Islands

科名 Family	种名 Species	原产地 Original locality	生活型 Life habit	入侵途径 Invasion route	危害等级 Hazard level	分布岛屿 Distributed islands
菊科 Asteraceae	飞机草 *Chromolaena odorata*	墨西哥 Mexico	陆生草本 Terrestrial herb	无意引入 Unintentional introduction	1	永兴岛、琛航岛、甘泉岛、广金岛、金银岛、晋卿岛、珊瑚岛、石岛、东岛 Yongxing Dao, Chenhang Dao, Ganquan Dao, Guangjin Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao, Shi Dao, Dong Dao
	鬼针草 *Bidens pilosa*	热带美洲 Tropical America	陆生草本 Terrestrial herb	无意引入 Unintentional introduction	1	赵述岛、永兴岛、西沙洲、东岛 Zhaoshu Dao, Yongxing Dao, Xi Shazhou, Dong Dao
	孪花蟛蜞菊 *Wollastonia biflora*	热带亚洲 Tropical Asia	陆生草本 Terrestrial herb	自然扩散 Natural spread	1	永兴岛、琛航岛、晋卿岛、珊瑚岛、石岛、西沙洲、东岛、南沙洲、北岛、南岛、中岛 Yongxing Dao, Chenhang Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao, Shi Dao, Xi Shazhou, Dong Dao, Nan Shazhou, Bei Dao, Nan Dao, Zhong Dao
	羽芒菊 *Tridax procumbens*	热带美洲 Tropical America	陆生草本 Terrestrial herb	无意引入 Unintentional introduction	1	中建岛、琛航岛、东岛、广金岛、金银岛、晋卿岛、珊瑚岛、永兴岛、赵述岛 Zhangjian Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Guangjin Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao, Yongxing Dao, Zhaoshu Dao
	假臭草 *Praxelis clematidea*	南美洲 South America	陆生草本 Terrestrial herb	自然扩散 Natural spread	2	永兴岛、东岛 Yongxing Dao, Dong Dao
	南美蟛蜞菊 *Sphagneticola trilobata*	热带美洲 Tropical America	陆生草本 Terrestrial herb	有意引入 Intentional introduction	2	中建岛、琛航岛、东岛、金银岛、珊瑚岛、永兴岛、赵述岛 Zhongjian Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Jinyin Dao, Shanhu Dao, Yongxing Dao, Zhaoshu Dao
豆科 Fabaceae	银合欢 *Leucaena leucocephala*	热带美洲 Tropical America	乔木 Arbor	有意引入 Intentional introduction	1	中建岛、琛航岛、东岛、金银岛、珊瑚岛、石岛、永兴岛 Zhongjian Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Jinyin Dao, Shanhu Dao, Shi Dao, Yongxing Dao
	巴西含羞草 *Mimosa diplotricha*	热带美洲 Tropical America	亚灌木 Subshrub	无意引入 Unintentional introduction	3	永兴岛、金银岛 Yongxing Dao, Jinyin Dao
	光荚含羞草 *M. bimucronata*	热带美洲 Tropical America	灌木 Shrub	无意引入 Unintentional introduction	3	中建岛 Zhongjian Dao
	含羞草 *M. pudica*	热带美洲 Tropical America	亚灌木 Subshrub	有意引入 Intentional introduction	3	赵述岛、永兴岛、石岛、金银岛 Zhaoshu Dao, Yongxing Dao, Shi Dao, Jinyin Dao
	望江南 *Senna occidentalis*	热带美洲 Tropical America	灌木 Shrub	无意引入 Unintentional introduction	3	永兴岛、琛航岛、东岛、金银岛、珊瑚岛 Yongxing Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Jinyin Dao, Shanhu Dao
苋科 Amaranthaceae	刺苋 *Amaranthus spinosus*	热带美洲 Tropical America	陆生草本 Terrestrial herb	无意引入 Unintentional introduction	3	晋卿岛 Jinqing Dao
	反枝苋（苋菜） *A. retroflexus*	热带美洲 Tropical America	陆生草本 Terrestrial herb	有意引入 Intentional introduction	3	中建岛、永兴岛、金银岛 Zhongjian Dao, Yongxing Dao, Jinyin Dao

续表 1

科名 Family	种名 Species	原产地 Original locality	生活型 Life habit	入侵途径 Invasion route	危害等级 Hazard level	分布岛屿 Distributed islands
	土牛膝 *Achyranthes aspera*	热带亚洲 Tropical Asia	陆生草本 Terrestrial herb	自然扩散 Natural spread	3	中建岛、琛航岛、东岛、甘泉岛、广金岛、金银岛、晋卿岛、珊瑚岛、永兴岛 Zhongjian Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Ganquan Dao, Guangjin Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao, Yongxing Dao
大戟科 Euphorbiaceae	蓖麻 *Ricinus communis*	东非 East Africa	亚灌木 Subshrub	无意引入 Unintentional introduction	3	永兴岛、琛航岛、东岛、甘泉岛、金银岛、晋卿岛、珊瑚岛 Yongxing Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Ganquan Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao
	飞扬草 *Euphorbia hirta*	热带美洲 Tropical America	陆生草本 Terrestrial herb	自然扩散 Natural spread	3	中建岛、琛航岛、东岛、甘泉岛、广金岛、金银岛、晋卿岛、珊瑚岛、西沙洲、永兴岛、赵述岛 Zhongjian Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Ganquan Dao, Guangjin Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao, Xi Shazhou, Yongxing Dao, Zhaoshu Dao
	猩猩草 *E. cyathophora*	中南美洲 Mid-South America	陆生草本 Terrestrial herb	自然扩散 Natural spread	3	永兴岛、琛航岛、东岛、广金岛、金银岛、珊瑚岛 Yongxing Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Guangjin Dao, Jinyin Dao, Shanhu Dao
禾本科 Poaceae	蒺藜草 *Cenchrus echinatus*	热带美洲 Tropical America	陆生草本 Terrestrial herb	自然扩散 Natural spread	2	西沙洲、东岛、永兴岛 Xi Shazhou, Dong Dao, Yongxing Dao
	红毛草 *Melinis repens*	南非 South Africa	陆生草本 Terrestrial herb	无意引入 Unintentional introduction	3	赵述岛、永兴岛、西沙洲 Zhaoshu Dao, Yongxing Dao, Xi Shazhou
夹竹桃科 Apocynaceae	白长春花 *Catharanthus roseus* cv. *Albus*	东非 East Africa	陆生草本 Terrestrial herb	有意引入 Intentional introduction	3	永兴岛、珊瑚岛 Yongxing Dao, Shanhu Dao
	长春花 *C. roseus*	东非 East Africa	陆生草本 Terrestrial herb	有意引入 Intentional introduction	3	中建岛、琛航岛、金银岛、晋卿岛、石岛、永兴岛、赵述岛、珊瑚岛 Zhongjian Dao, Chenhang Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shi Dao, Yongxing Dao, Zhaoshu Dao, Shanhu Dao
马鞭草科 Verbenaceae	马缨丹(五色梅) *Lantana camara*	热带美洲 Tropical America	灌木 Shrub	有意引入 Intentional introduction	2	东岛、琛航岛、甘泉岛、金银岛、晋卿岛、珊瑚岛、石岛、永兴岛 Dong Dao, Chenhang Dao, Ganquan Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao, Shi Dao, Yongxing Dao
	假马鞭 *Stachytarpheta jamaicensis*	热带美洲 Tropical America	亚灌木 Subshrub	自然扩散 Natural spread	3	赵述岛、琛航岛、东岛、甘泉岛、金银岛、晋卿岛、西沙洲、永兴岛、珊瑚岛 Zhaoshu Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Ganquan Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Xi Shazhou, Yongxing Dao, Shanhu Dao
西番莲科 Passifloraceae	龙珠果 *Passiflora foetida*	热带美洲 Tropical America	藤本 Vine	无意引入 Unintentional introduction	2	永兴岛、琛航岛、金银岛、晋卿岛、珊瑚岛、石岛 Yongxing Dao, Chenhang Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao, Shi Dao

续表 1

科名 Family	种名 Species	原产地 Original locality	生活型 Life habit	入侵途径 Invasion route	危害等级 Hazard level	分布岛屿 Distributed islands
仙人掌科 Cactaceae	仙人掌 *Opuntia dillenii*	热带美洲 Tropical America	灌木 Shrub	有意引入 Intentional introduction	2	永兴岛、琛航岛、金银岛、石岛、北岛 Yongxing Dao, Chenhang Dao, Jinyin Dao, Shi Dao, Bei Dao
樟科 Lauraceae	无根藤 *Cassytha filiformis*	热带亚洲 Tropical Asia	藤本 Vine	自然扩散 Natural spread	1	永兴岛、琛航岛、东岛、甘泉岛、广金岛、金银岛、晋卿岛、珊瑚岛、石岛、西沙洲 Yongxing Dao, Chenhang Dao, Dong Dao, Ganquan Dao, Guangjin Dao, Jinyin Dao, Jinqing Dao, Shanhu Dao, Shi Dao, Xi Shazhou

注：有害植物分级依据“中国外来入侵物种信息系统”(https://www.plantplus.cn/ias/)，并结合西沙群岛有害植物危害的实际情况。

Note: Classification of pernicious plants based on the “China Invasive Species Information System” (https://www.plantplus.cn/ias/) and combine with the actual situation of pernicious plant hazards in the Xisha Islands.

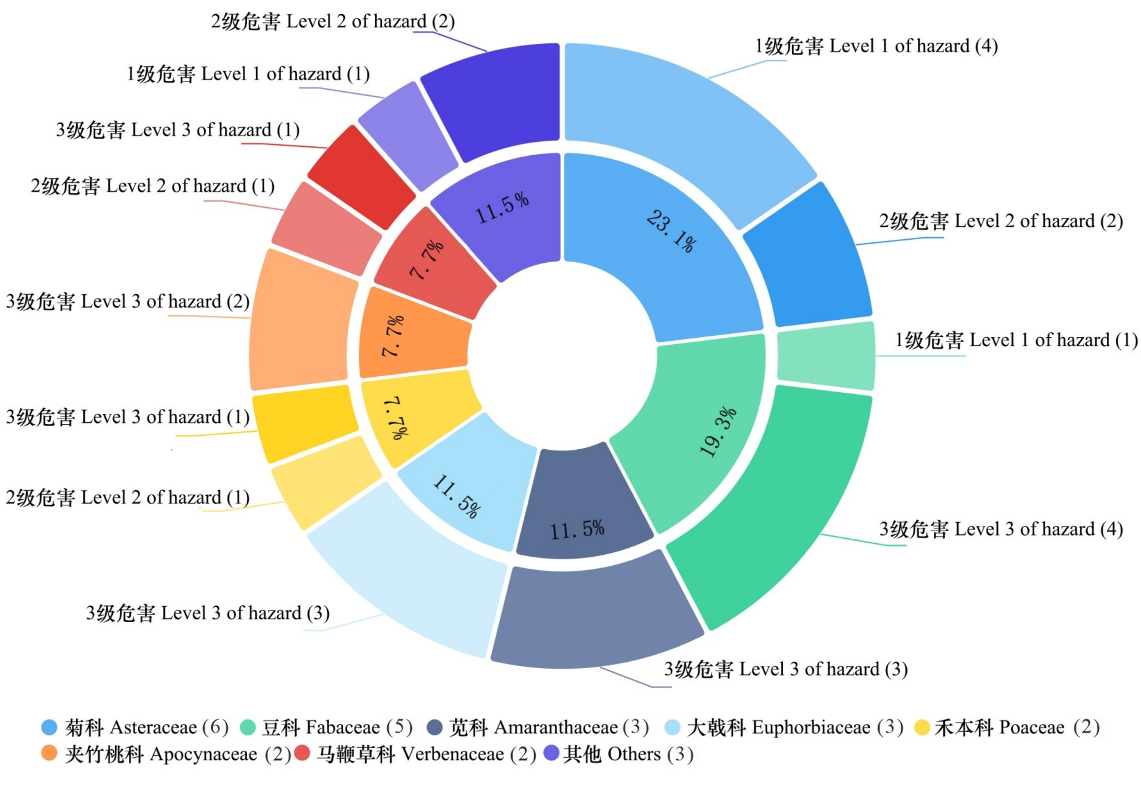

图 1　西沙群岛有害植物的科占比和危害等级

Fig. 1　Family proportion and hazard level of pernicious plants in the Xisha Islands

本研究中，危害评级为 1 级危害的植物，表明其对西沙群岛的原生植被、生态系统的稳定性及生态服务功能产生了较大的影响，具有巨大的破坏力。表 2 结果显示，1 级危害的植物有 6 种，占全部有害植物的 23.1%，永兴岛(6 种)、东岛(6 种)、琛航岛(5 种)、珊瑚岛(5 种)、晋卿岛(4 种)的危害情况最为严重。

2.4 有害植物的生境状况

本研究调查发现，西沙群岛有害植物危害严重的地方主要是两类生境：一类是人为干扰强烈

A. 无根藤; B. 孪花蟛蜞菊; C. 飞机草; D. 龙珠果。
A. *Cassytha filiformis*; B. *Wollastonia biflora*; C. *Chromolaena odorata*; D. *Passiflora foetida*.

图 2 有害植物对西沙群岛原生植被的危害现状

Fig. 2 Current hazard situation caused by pernicious plants to the native vegetation in the Xisha Islands

的地方,如建筑迹地、绿化带、环岛路边等,这类生境的有害植物主要有孪花蟛蜞菊、羽芒菊、蓖麻、龙珠果等;另一类是原生植被的林缘、林窗,如东岛的原生灌木群落受到无根藤和飞机草的危害,珊瑚岛上的林窗有大范围的银合欢入侵等。总体而言,西沙群岛的有害植物在各种生境均有分布,人为活动频繁的地方有害植物危害较大,干扰较小的原生乔木群落受到的危害较小。

热带珊瑚岛的自然生境恶劣,很多有害植物名录中的植物,是作为绿化植物、蔬菜或植被恢复的工具种引入岛上,如反枝苋(苋菜)作为蔬菜、仙人掌作为海岸的固沙植物、长春花作为园林观赏植物等。这些危害较轻的有害植物,与原生植物一起,构成了现存的热带珊瑚岛植被。

2.5 有害植物的生活型

参考《中国植被》(中国植被编辑委员会,1980)生活型分类系统,西沙群岛外来入侵植物的生活型可以分为乔木、灌木、亚灌木、藤本和陆生草本 5 种类型。其中,陆生草本数量最多,有 15 种,占西沙群岛有害植物总数的 57.7%;其次为亚灌木(4 种)和灌木(4 种),各占 15.4%;藤本(2 种)和乔木(1 种),分别占 7.7%和 3.8%。

有害植物中的外来入侵种在到达新地区的初始阶段,种群往往比较小且要面临本地植物的竞争和人为活动的干扰,该物种只有具备本地植物所不具有的优势, 才能在各种不利环境中生存下

表 2　西沙群岛各岛屿有害植物的种类统计

Table 2　Statistics of pernicious plants in various islands of the Xisha Islands

岛屿 Islands	有害植物种数 Number of pernicious plant species	1 级危害植物种数 Number of Level 1 hazard plant species	植物总种数 Total number of plant species	有害植物占全部植物比例 Proportion of pernicious plants (%)	岛屿陆地面积 Island land area (km^2)	1 级危害植物危害面积 Hazard aera of Level 1 hazard (m^2)
永兴岛 Yongxing Dao	24	6	206	11.65	2.10	10 600
金银岛 Jinyin Dao	18	4	97	18.56	0.36	2 200
琛航岛 Chenhang Dao	16	5	105	15.24	0.28	1 850
珊瑚岛 Shanhu Dao	16	5	99	16.16	0.30	2 000
东岛 Dong Dao	16	6	141	11.35	1.60	11 000
晋卿岛 Jinqing Dao	12	4	83	14.46	0.21	1 850
石岛 Shi Dao	9	4	52	17.31	0.08	330
赵述岛 Zhaoshu Dao	8	2	84	9.52	0.22	600
中建岛 Zhongjian Dao	8	2	63	12.70	1.20	120
甘泉岛 Ganquan Dao	7	2	64	10.94	0.31	2 500
西沙洲 Xi Shazhou	7	3	31	22.58	0.04	1 400
广金岛 Guangjin Dao	6	3	37	16.22	0.06	250
北岛 Bei Dao	2	1	19	10.53	0.40	—
南岛 Nan Dao	1	1	20	5.00	0.17	—
南沙洲 Nan Shazhou	1	1	15	6.67	0.06	—
中岛 Zhong Dao	1	1	9	11.11	0.13	—
银屿 Yin Yu	0	0	30	0	0.01	0
羚羊礁 Lingyang Jiao	0	0	19	0	0.01	0
鸭公岛 Yagong Dao	0	0	11	0	0.01	0
中沙洲 Zhong Shazhou	0	0	11	0	0.05	—
盘石屿 Panshi Yu	0	0	5	0	0.40	—
北沙洲 Bei ShaZhou	0	0	5	0	0.02	—
石屿 Shi Yu	0	0	2	0	0.002	—
全富岛 Quanfu Dao	0	0	0	0	0.02	0

注：各岛屿对应的英文名称引自“南沙群岛在线网站（www.nansha.org.cn）”。

Note: Corresponding English name of the island is quoted from the website “the Nansha Islands Online (www.nansha. org.cn)”.

来，并成功扩散。草本植物一般具有生长速度快、结果时间长、种子数量大等生活史特征，这些特征在竞争中具有明显优势。因此，在西沙群岛的有害植物中，陆生草本植物占据了主力位置。

2.6 有害植物的原产地和入侵途径分析

对西沙群岛有害植物的原产地进行分析，结果（图 4）显示，原产于美洲的种类有 19 种，占总数的 73.1%，来自非洲的 4 种、亚洲的 3 种，分别占 15.4%和 11.5%。原产于美洲的有害植物种类最多，占总数的绝大部分，这可能与其广阔的地理范围、复杂的生物多样性和多样的气候条件有关。

有害植物的入侵途径以人为引入为主，合计有 18 种。其中，无意引入和有意引入有害植物分别有 10 种和 8 种，分别占总数的 38.5%和 30.8%，自然扩散到岛上的有害植物只有 8 种，占总数的 30.8%。由此可见，人们有意无意的干扰活动是导致西沙群岛有害植物扩散的主要途径。

3　讨论

3.1 西沙群岛有害植物的分布格局

经过前人的不断努力，对于有害植物和外来

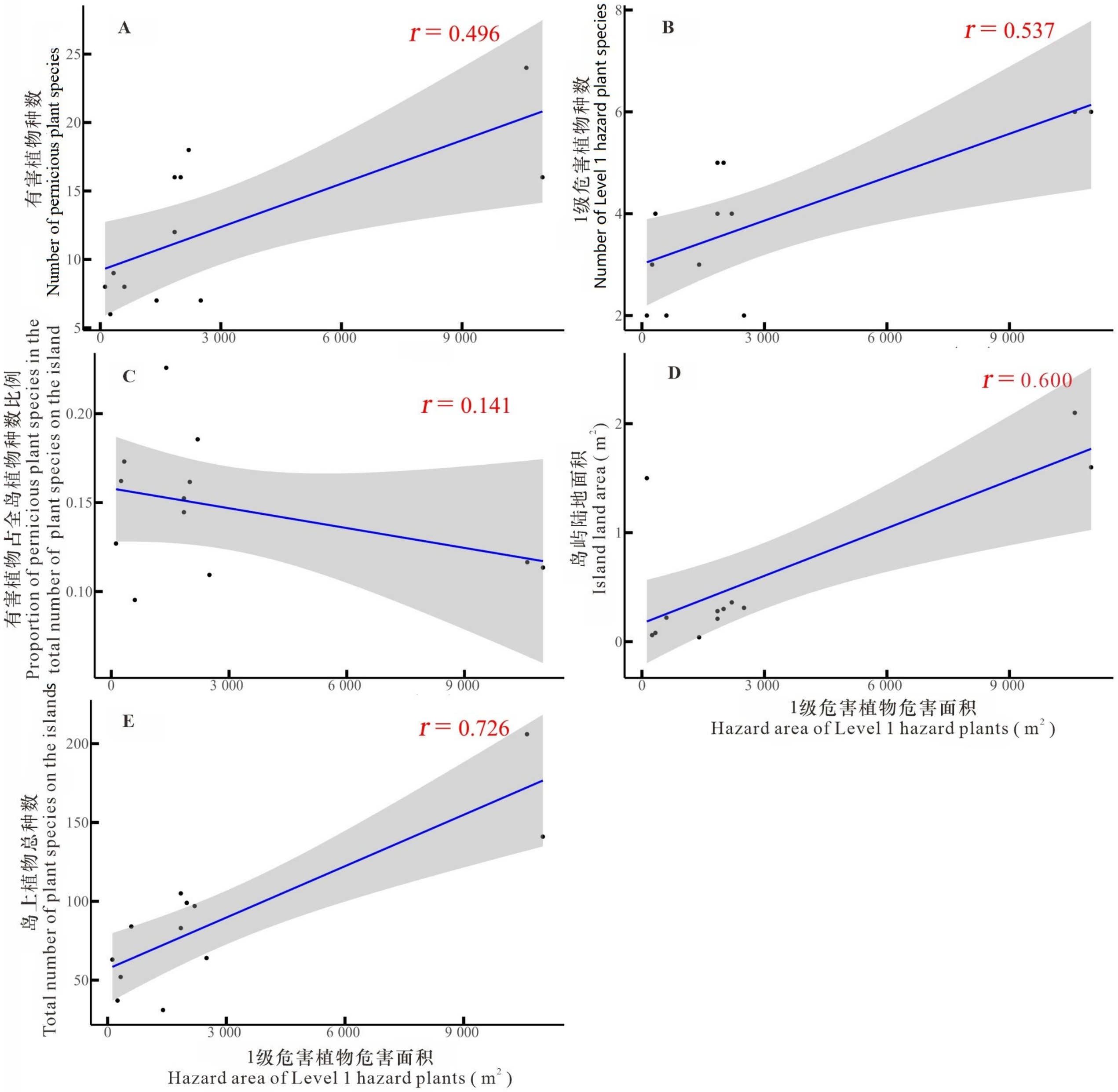

图 3 有害植物危害面积与影响因素的相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis between the hazard area of pernicious plants and influencing factors

入侵植物的种类调查,我国已经有了较为详细的资料(马金双,2013;闫小玲等,2014)。虽然其中有些研究报道的有害植物收录标准不同,如 Wu 等(2010)没有区分归化种和外来入侵种,万方浩等(2012)主要收录危害较为严重的物种,但总体而言,我国对外来入侵植物的研究呈现出不断深入和全面的趋势。认识区域尺度上有害植物的分布格局及其成因,对预测有害植物的影响和入侵种的管理具有重要意义(吴晓雯等,2006)。因此,本研究对西沙群岛主要岛屿的有害植物分布情况进行了分析。

本研究结果表明,永兴岛陆地面积为 2.1 km^2,是西沙群岛的第一大岛,人为活动较为频繁。有害植物多达 24 种,其中 1 级危害植物 6 种,是各岛屿中有害植物数量最多的岛屿之一。永兴岛危害最严重的有害植物为孪花蟛蜞菊、无根藤、羽芒菊

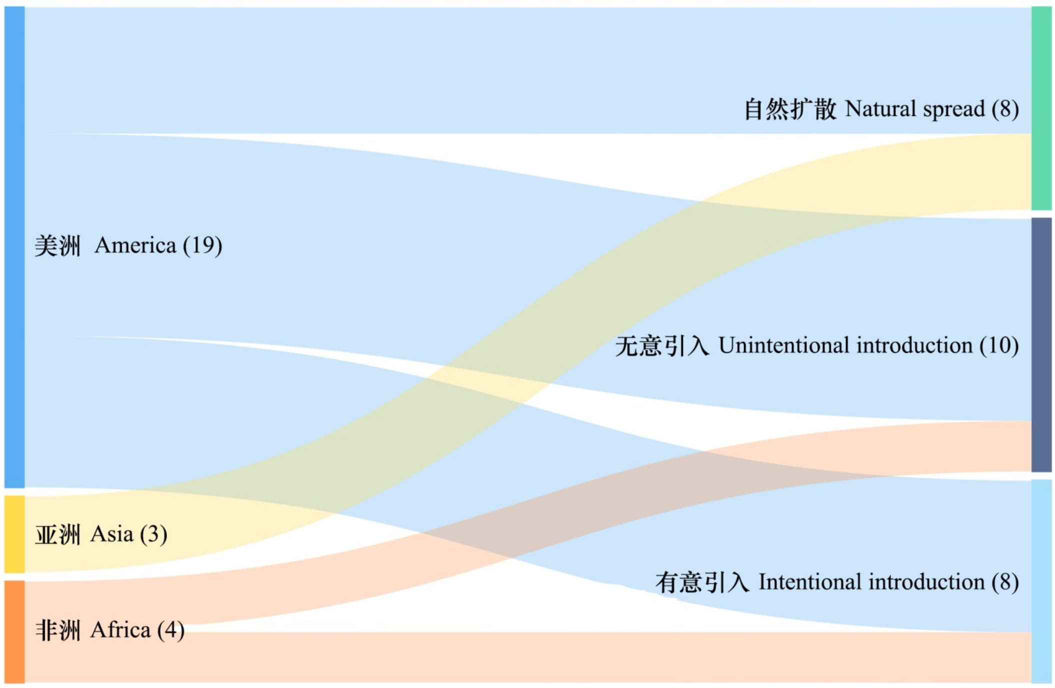

图 4　西沙群岛有害植物的原产地和入侵途径

Fig. 4　Origin and invasion route of pernicious plants in the Xisha Islands

和南美蟛蜞菊等。其中，李花蟛蜞菊危害范围最大，主要危害原生森林植被和人工绿化植被，无论是在建筑施工迹地和绿化带还是在原生森林植被边缘和滨海藤草植被都有其存在。李花蟛蜞菊群落外貌类似飞机草群落，枝高约 1.5 m，枝横交错，难以通行；无根藤主要危害人工绿地和受人为干扰较大的原生森林群落，其植株一旦入侵，就难以彻底清除；羽芒菊主要存在于建筑工地周边、人工草坪和绿化带；南美蟛蜞菊主要存在于椰子林的林下和某些尚未进行道路绿化的路边，被当作一种地被覆盖植物。

东岛陆地面积为 1.6 km^2，仅次于永兴岛，其人为干扰程度较低、植被覆盖率高、原生植被保存较好，被誉为拥有西沙最大最完整的原始森林(蔡洪月等，2020)。东岛主要有害入侵植物为无根藤、飞机草和南美蟛蜞菊。其中，无根藤主要危害草海桐、海岸桐、海滨木巴戟和银毛树群落；飞机草主要入侵伞序臭黄荆、抗风桐、橙花破布木和海滨木巴戟群落；而南美蟛蜞菊则入侵岛屿的大面积草地植被，使得原生草地植被的生物多样性大大降低。

珊瑚岛陆地面积为 0.3 km^2，原生植被受到的破坏程度较大，现存的原生植被呈现出斑块状分布，但未见大面积连续分布的原生乔木群落。根据调查现场的情况分析，主要原因是有害植物银合欢的强势入侵和人为活动干扰。银合欢群落林冠郁闭度较高、林下物种多样性低，可以作为热带珊瑚岛植被恢复的工具种(简曙光和任海，2017)。因此应合理规划银合欢的栽培区域和栽培范围，防止其对原生植被产生危害。

甘泉岛面积为 0.31 km^2，岛上植物生长的地表环境主要为磷质石灰土和珊瑚石灰岩(赵焕庭等，2014)。岛屿中部土壤发育较差，裸露的珊瑚石灰岩占据了大部分区域，植被主要是由苦郎树构成的灌木群落，由于有害植物马缨丹可以通过化感作用和速生优势严重威胁苦郎树群落，与苦郎树争夺养分和生存空间，因此需要重点防控(李玉霞等，2019)。

其他岛屿的有害植物危害范围较小，如中建岛面积虽然达 1.5 km^2，但由于岛上大部分区域在涨大潮时会被海水淹没，因此自然环境恶劣、植被发育较差；琛航岛和金银岛有害植物种数虽然较

多,但均未造成严重后果。因此,仅需要防范银合欢、飞机草等有害植物的危害和扩张。

3.2 有害植物的风险评估

如果对这些有害植物处置不慎就很有可能会继续扩散,从而给脆弱的热带珊瑚岛生态系统带来难以估量的危害。最具代表性的有害植物为本地入侵植物无根藤和外来入侵植物飞机草。无根藤是一种泛热带寄生植物,通过寄生于其他植物来获取养分,在我国华南地区广泛存在,但在大陆地区未形成明显生态威胁。无根藤生长较为迅速,通过遮蔽寄主树冠和超量吸收寄主养分等途径与原生植物竞争营养物质和生存空间。无根藤长期对养分的大量吸收会导致土壤贫瘠,影响土壤的质量和生产力,这对于维持生态系统的可持续性是一个严重的问题。无根藤的这些行为不仅影响个别寄主植物,而且还可能改变整个生态系统的结构和功能,随着寄主植物的衰弱和死亡,生物多样性会减少,食物网结构可能发生变化,进而影响整个生态系统的健康和稳定性。飞机草原产于中、南美洲,已成为热带及亚热带地区的恶性入侵杂草。飞机草生长速度快、分布范围广,通过释放化感物质以抑制周围其他植物的萌发和生长,从而减少与其竞争的植物数量。在热带珊瑚岛原生森林群落中,飞机草能够迅速占领林窗区域并形成优势,向原生植被群落扩张(Luo et al., 2024)。在西沙群岛这类森林结构简单、生态功能脆弱的生态系统中,长期被飞机草占据的区域会经历退行性演替,即森林生态系统从一种较为复杂和稳定的结构退化为结构较简单、物种多样性较低的状态。飞机草的广泛分布和生长,也会降低热带珊瑚岛森林生态系统提供诸如碳固定、土壤稳定、水源涵养等生态系统服务的能力。

此外,比较有代表性的本地入侵植物孪花蟛蜞菊在海南和广东、广西均有分布,主要分布于海岸干燥的沙地上(中国科学院中国植物志编辑委员会,1979),极少出现在林下或灌丛中,对海岸带的乔木林和灌木林不会造成危害。但是,在热带珊瑚岛这个特殊的生态系统中,其危害性却大于全球著名的外来入侵植物飞机草和寄生性有害植物无根藤(Cai et al., 2020)。这说明有害植物的危害性由其自身特性和被危害地区的生物和环境特性决定,在大陆地区获得的有关有害植物及其危害策略的知识可能不适用于热带珊瑚岛。为了保护热带珊瑚岛脆弱的生态系统和管理入侵植物,需要对岛上的生态系统结构和功能进行长期监测。

我们在调查中发现,本地植物滨豇豆(*Vigna marina*)在某些特殊的情况下,也会攀附在乔木群落的林冠上,并表现出一定的有害植物特性,如在东岛的东侧海岸,滨豇豆、小刀豆(*Canavalia cathartica*)攀附在抗风桐和海岸桐植株上;在永兴岛西部的环岛路边,滨豇豆攀附在橙花破布木和海岸桐混交群落的林冠。小刀豆和滨豇豆作为主要依靠海流传播的海滨先锋植物,自然条件下不会出现在乔木林下,并且以上危害现象均发生在人为活动频繁的路边,该现象可能是由植物蔓生特性和人为干扰后的局部环境特点共同造成的。

3.3 有害植物的主要入侵途径

有害植物的来源主要有 3 条途径,即人类有意引入后扩散、人类活动无意引入和自然扩散。有意引入的物种主要用于观赏、药用、饲料、恢复植被、水土保持等(王忠等,2008)。比如,作为观赏植物引进的马缨丹、南美蟛蜞菊、仙人掌、含羞草、长春花等,而比较典型的则是作为绿化植物引入的银合欢,在珊瑚岛大范围扩散,即使当前没有产生决定性的不利影响,也需要谨慎对待其潜在的风险,如果不加以控制,按照目前的发展趋势,在未来极有可能威胁到珊瑚岛生态系统的稳定性和生物多样性。

无意引入主要是通过引种苗木混入、客土、岛际交通无意携带等途径,如赵述岛的鬼针草、含羞草、红毛草等有害植物,通过对比往年植物调查数据(童毅等,2013),确定为在近年随岛上大规模的植被恢复和园林绿化施工过程中,从海南岛无意引入。因此,在热带珊瑚岛这种脆弱的生态系统中,要严防生态修复过度景观化,应以热带珊瑚岛原有的植物类群为主,确保修复措施能够与岛屿的自然生态相协调,保护岛屿独特的生物多样性,避免因追求短期的景观效果而对生态系统造成长期的伤害。

自然扩散是指有害植物的传播体(种子、果实、营养器官或整株)通过风媒、海流或因昆虫、鸟类的传带而发生的扩散。最明显的是本地入侵种无根藤和孪花蟛蜞菊,无根藤为肉质果实,可以通过鸟类取食传播(邓双文,2017),孪花蟛蜞菊种子可以通过海流传播,2 种有害植物均已分布于西沙

群岛的 10 多个岛屿。与人为活动有意无意引入的有害植物相比，自然扩散的有害植物比例仅占总数的 30.8%。由此可见，人类活动是造成有害植物扩散的重要因素之一。

3.4 有害植物的防控策略

西沙群岛的有害植物目前主要分布于人为活动强度大的区域和少数岛屿的林缘林窗，尚未造成极严重或毁灭性的危害。但是，我们通过 10 多年的调查分析发现，西沙群岛有害植物的分布面积和危害程度有增加和加剧的趋势，已对一些岛屿的部分区域造成植被死亡或退化的后果，影响了生态系统的健康与安全。因此，加强西沙群岛有害植物的长期监测与科学防控刻不容缓。随着国家对南海的开发和海岛植被恢复的进行，人为活动引入有害植物的概率还会增加。针对西沙群岛有害植物的危害现状以及未来的入侵风险，我们提出以下防治和管理建议。

3.4.1 *加强检验检疫，控制有害植物引入* 西沙群岛拥有国内其他地方少有的优质自然环境和旅游资源，为了改善岛上的旅游环境和居住条件，未来一段时间可能会持续进行基础设施建设。基建和绿化施工是有害植物入侵的主要途径，在从岛外引入园林苗木、客土移栽和土壤改良时，应进行严格的土壤消毒、检疫及灭菌处理，从源头控制有害植物的传播体上岛。

3.4.2 *加强有害植物防控技术研究* 研究和利用海岛上特有的天敌或竞争者来控制外来入侵植物，同时参考大陆地区已有的有害植物防控技术，研发适合热带珊瑚岛特殊生境的防控方法，如物理防除、化学防除、生物防除或替代控制等，并先在岛上小范围验证后再在各岛推广应用。与高校和科研院所合作，在对有害植物充分研究的基础上，开发其药用、饲料、绿肥等利用价值，从而变废为宝。

3.4.3 *保护及恢复原生植被* 通过保护和恢复珊瑚岛原生植被及特有的植物种类，增强本地生态系统的覆盖率及抵抗力，从而抵御外来入侵植物。我国的西沙群岛本来就有自然发育的茂密乡土植被，对当地生态系统的安全、健康和可持续发挥重要作用。由于绝大多数有害植物为阳生性，难以适应阴生环境，因此保护和恢复原生植被、提高植被覆盖率、营造荫蔽环境，可有效抑制有害植物的生长和扩张。同时，在园林绿化和植被恢复中应优先使用乡土植物种类，减少入侵风险。引入外来植物养护成本高，并且有入侵的风险，植物不能很好地适应热带珊瑚岛的恶劣生境，从而导致造景和植被恢复效果差。

3.4.4 *加强有害植物的监测及宣传教育* 有害植物防控是一项长期且复杂的工作，需要开展长期的系统监测，及时了解有害植物的分布及危害状况。当地政府及相关单位应针对珊瑚岛的居民和游客开展生态环境教育项目，并强调保护珊瑚岛特有生态系统的重要性，提高公众对外来入侵植物的识别和防控意识，同时积极参与到有害生物的防控行动中。

4 结论

本研究对我国西沙群岛有害植物的种类组成、分布、生长特性和危害程度等进行了全面的调查和分析，并根据其生长、分布及危害程度将有害植物分为 3 个等级，其中 1 级危害的植物有 6 种。有害植物危害程度与岛屿上的植物种数和岛屿面积密切相关。随着南海开发和驻岛生活条件的改善，以及原有有害植物的扩散，西沙群岛有害植物的分布面积和危害程度分别呈现增加和加剧的趋势，已经导致一些岛屿部分区域的植被死亡或退化后果，影响了生态系统的健康与安全。因此，加强西沙群岛有害植物的长期监测与科学防控刻不容缓。除了加强检验检疫、严格控制和评估有害植物的引入、防止生态修复过度景观化外，对已造成严重危害的有害植物需要研发有效的防控技术，制定科学的防控策略。在防控方法上，要以物理清除和替代防控为主，化学防控为辅，尽量使用无毒或微毒的生物（含微生物）药剂。本研究结果为西沙群岛植被及生态系统的保护、健康及可持续发展提供了重要基础资料和科技支撑，同时可推广应用到具有类似环境的热带亚热带海岛。

参考文献：

908 Special Office of the State Oceanic Administration of China, 2005. Technical regulations for island investigation [M]. Beijing: China Ocean Press. [国家海洋局 908 专项办公室, 2005. 海岛调查技术规程 [M]. 北京: 海洋出版社.]

BRYSON CT, CARTER R, 1993. Cogongrass, *Imperata* cylindrica, in the United States [J]. Weed Technology, 7(4): 1005-1009.

CAI H, LU H, TIAN Y, et al., 2020. Effects of invasive plants on the health of forest ecosystems on small tropical coral islands [J]. Ecological Indicators, 117: 106656.

CAI HY, LIU N, WEN MH, et al., 2020. Ecological and biological characteristics of *Tournefortia argentea* in Paracel Islands [J]. Guihaia, 40(3): 375-383. [蔡洪月, 刘楠, 温美红, 等, 2020. 西沙群岛银毛树(*Tournefortia argentea*)的生态生物学特性 [J]. 广西植物, 40(3): 375-383.]

China Vegetation Editorial Committee, 1980. Chinese Vegetation [M]. Beijing: Science Press. [中国植被编辑委员会, 1980. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社.]

DENG SW, 2017. Plant dispersal mechanism of Paracel Islands, China [D]. Guangzhou: South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences. [邓双文, 2017. 中国西沙群岛植物传播机理的研究 [D]. 广州: 中国科学院华南植物园.]

Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences, 1979. Flora Reipublicae Popularis Sinicae [M]. Beijing: Science Press, 64(2): 33-34. [中国科学院中国植物志编辑委员会, 1979. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 64(2): 33-34.]

HUSSAIN N, ABBASI T, ABBASI SA, 2016. Vermiremediation of an invasive and pernicious weed salvinia (*Salvinia molesta*) [J]. Ecological Engineering, 91: 432-440.

JIAN SG, REN H, 2017. Atlas on tool species for vegetation restoration on tropical coral islands [M]. Beijing: China Forestry Publishing House. [简曙光, 任海, 2017. 热带珊瑚岛礁植被恢复工具种图谱 [M]. 北京: 中国林业出版社.]

KAMARAJ M, SRINIVASAN NR, ASSEFA G, et al., 2020. Facile development of sunlit ZnO nanoparticles-activated carbon hybrid from pernicious weed as an operative nano-adsorbent for removal of methylene blue and chromium from aqueous solution: Extended application in tannery industrial wastewater [J]. Environmental Technology & Innovation, 17: 100540.

LI YX, SHANG CQ, ZHU XZ, 2019. Progress on the research on the invasive west Indian Lantana (*Lantana camara*, Verbenaceae) [J]. Journal of Biosafety, 28(2): 103-110. [李玉霞, 尚春琼, 朱珣之, 2019. 入侵植物马缨丹研究进展 [J]. 生物安全学报, 28(2): 103-110.]

LOWE S, BROWNE M, BOUDJELAS S, et al., 2000. 100 of the world's worst invasive alien species. A selection from the global invasive species database. Published by the Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN) [R]. Swiss Grande: IUCN: 1-12.

LUO X, LIU N, LAMBERS H, et al., 2024. Plant invasion alters soil phosphorus cycling on tropical coral islands: Insights from *Wollastonia biflora* and *Chromolaena odorata* invasions [J]. Soil Biology and Biochemistry, 193: 109412.

MA JS, 2013. List of invasive plants in China [M]. Beijing: Higher Education Press. [马金双, 2013. 中国入侵植物名录 [M]. 北京: 高等教育出版社.]

Ministry of Environmental Protection, Chinese Academy of Sciences, 2014. Announcement on publishing the list of alien invasive species in China (Third Batch) [EB/OL]. (2014-08-20) [2024-04-02]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288367.htm. [环境保护部 中国科学院, 2014. 关于发布《中国外来入侵物种名单(第三批)》的公告 [EB/OL]. (2014-08-20) [2024-04-02]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288367.htm.

Ministry of Environmental Protection, Chinese Academy of Sciences, 2014. Announcement on the release of the list of invasive species from China's natural ecosystems (Fourth Batch) [EB/OL]. (2016-12-20) [2024-04-08]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201612/t20161226_373636.htm. [环境保护部 中国科学院, 2016. 关于发布《中国自然生态系统外来入侵物种名单(第四批)》的公告 [EB/OL]. (2016-12-20) [2024-04-08]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201612/t20161226_373636.htm.

Plant Survey Team of Paracel Islands, Guangdong Institute of Botany, 1977. The plants and vegetation of the Paracel Islands in China [M]. Beijing: Science Press. [广东省植物研究所西沙群岛植物调查队, 1977. 我国西沙群岛的植物和植被 [M]. 北京: 科学出版社.]

State Environmental Protection Administration, 2003. Notice on the release of China's first batch of invasive species list [EB/OL]. (2003-01-10) [2024-04-02]. https://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172155.htm. [国家环保总局, 2003. 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) [2024-04-02]. https://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172155.htm.

The Ministry of Environmental Protection of China, 2010. Notice on issuing the second batch of list of invasive alien species in China [EB/OL]. (2010-01-07) [2024-04-02]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201001/t20100126_184831.htm. [环境保护部, 2010. 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) [2024-04-02]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201001/t20100126_184831.htm.

TONG Y, JIAN SG, CHEN Q, et al., 2013. Vascular plant diversity of the Paracel Islands, China [J]. Biodiversity

Science, 21(3): 364-374. [童毅, 简曙光, 陈权, 等, 2013. 中国西沙群岛植物多样性 [J]. 生物多样性, 21(3): 364-374]

WAN FH, LIU QR, XIE M, 2012. Biological invasion: atlas of invasive plants in China [M]. Beijing: Science Press. [万方浩, 刘全儒, 谢明, 2012. 生物入侵: 中国外来入侵植物图鉴 [M]. 北京: 科学出版社.]

WAN FH, GUO JY, WANG DH, 2002. Alien invasive species in China: their damages and management strategies [J]. Biodiversity Science, 10(1): 119-125. [万方浩, 郭建英, 王德辉, 2002. 中国外来入侵生物的危害与管理对策 [J]. 生物多样性, 10(1): 119-125.]

WANG Z, DONG SY, LUO YY, et al., 2008. Invasive plans in Guangzhou, China [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 16(1): 29-38. [王忠, 董仕勇, 罗燕燕, 等, 2008. 广州外来入侵植物 [J]. 热带亚热带植物学报, 16(1): 29-38.]

WU S, SUN H, TENG Y, et al., 2010. Patterns of plant invasions in China: Taxonomic, biogeographic, climatic approaches and anthropogenic effects [J]. Biological Invasions, 12(7): 2179-2206.

WU XW, LUO J, CHEN JK, et al., 2006. Spatial patterns of invasive alien plants in China and its relationship with environmental and anthropological factors [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 30(4): 576-584. [吴晓雯, 罗晶, 陈家宽, 等, 2006. 中国外来入侵植物的分布格局及其与环境因子和人类活动的关系 [J]. 植物生态学报, 30(4): 576-584.]

YAN BY, TONG FC, KUANG LH, et al., 2020. The influence of harmful plant *Wedelia biflora* expansion on terrestrial mollusks in Paracel Islands [J]. Biodiversity Science, 28 (10): 1182-1191. [颜碧玥, 佟富春, 况露辉, 等, 2020. 有害植物孪花蟛蜞菊扩张对西沙岛屿陆生软体动物的影响 [J]. 生物多样性, 28(10): 1182-1191.]

YAN XL, LIU QR, SHOU HY, et al., 2014. The categorization and analysis on the geographic distribution patterns of Chinese alien invasive plants [J]. Biodiversity Science, 22(5): 667-676. [闫小玲, 刘全儒, 寿海洋, 等, 2014. 中国外来入侵植物的等级划分与地理分布格局分析 [J]. 生物多样性, 22(5): 667-676.]

YU YN, PENG SL, LI JL, et al., 2009a. The present situation of the harmful plants in Xiqiao Mountain National Forest Park [J]. Ecology and Environmental Sciences, 18(1): 299-305. [虞依娜, 彭少麟, 黎建力, 等, 2009a. 西樵山国家森林公园有害植物现状分析 [J]. 生态环境学报, 18(1): 299-305.]

YU YN, YE YH, PENG SL, et al., 2009b. Control policy of harmful plants in Xiqiaoshan Natural Forest Park [J]. Ecology and Environmental Sciences, 18(3): 1194-1196. [虞依娜, 叶有华, 彭少麟, 等, 2009b. 西樵山国家森林公园有害植物控制策略研究 [J]. 生态环境学报, 18(3): 1194-1196.]

ZHAO HT, WANG LR, SONG CJ, 2014. Review on freshwater lens of lime-sand island in Nanhai Zhudao [J]. Marine Science Bulletin, 33(6): 601-610. [赵焕庭, 王丽荣, 宋朝景, 2014. 南海诸岛灰沙岛淡水透镜体研究述评 [J]. 海洋通报, 33(6): 601-610.]

ZHENG JM, MA KP, 2010. Invasion ecology [M]. Beijing: Higher Education Press. [郑景明, 马克平, 2010. 入侵生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社.]

(责任编辑　蒋巧媛　王登惠)