

广西海岸潮间带互花米草遥感监测*

Remote Sensing Monitoring of *Spartina alterniflora* in Coastal Intertidal Zone of Guangxi

陶艳成, 潘良浩, 范航清**, 葛文标, 刘文爱, 史小芳

TAO Yancheng, PAN Lianghao, FAN Hangqing, GE Wenbiao, LIU Wen'ai, SHI Xiaofang

(广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000)

(Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China)

摘要:【目的】对广西海岸潮间带入侵物种互花米草 (*Spartina alterniflora*) 进行遥感监测, 查清互花米草分布区域。【方法】以 2016 年 GF-1 号高分辨率卫星影像为数据源, 利用遥感技术与野外勘查相结合的方法, 对广西互花米草扩散现状进行监测和分析。【结果】截至 2016 年 7 月, 广西海岸潮间带互花米草分布面积为 686.48 hm², 斑块数 5 191 个, 平均斑块面积为 0.13 hm², 最大斑块面积为 47.24 hm² (位于丹兜海海域滩涂)。此次调查结果显示互花米草面积比引种时期增加了 685.54 hm², 面积增长了 729 倍。北海市海滩互花米草分布面积为 685.91 hm², 占入侵总面积的 99.92%, 钦州市海滩分布面积为 0.57 hm², 占入侵总面积的 0.08%。丹兜海互花米草入侵面积达 317.89 hm², 但廉州湾斑块数量分布最多, 为 2 777 个。【结论】高分辨率卫星影像能有效地提取互花米草分布信息; 广西互花米草正处于迅速扩张期, 空间上自东往西扩散, 最远已到达钦州市大风江口西部海域滩涂; 廉州湾互花米草扩散正处于急速爆发期; 自然保护区内红树林、海草床和土著盐沼植被等海洋生态系统已经受到互花米草的严重威胁, 生态环境不容乐观。建议加强对互花米草扩散和防治机制的研究。

关键词: 互花米草 入侵物种 遥感监测 潮间带

中图分类号: Q948.13, P237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)05-0483-07

Abstract:【Objective】The remote sensing monitoring of *Spartina alterniflora* was carried out in Guangxi intertidal zone, and the distribution of *Spartina alterniflora* was found out, which provided data support for scientific research and control of *Spartina alterniflora* in Guangxi.

【Methods】Based on the high resolution satellite image of GF-1 in 2016, the current spread situation of *Spartina alterniflora* was monitored and analyzed by the combination of remote sensing technology and field survey in Guangxi. 【Results】As of July 2016, the intertidal area of *Spartina alterniflora* in Guangxi was 686.48 hm², the number of patches was 5 191, the average patch area was 0.13 hm², and the maximum patch area was 47.24 hm² (it is located in the

Dandouhai Sea area). The survey results showed that the area of *Spartina alterniflora* increased by 685.54 hm² compared with the introduction period, and the area increased by 729 times. The distribution area of *Spartina alterniflora* was 685.91 hm² in Beihai City, accounting for 99.92% of the total area of invasion, and the distribution area in Qinzhou City was 0.57 hm², accounting for 0.08% of the total area of invasion. The Dandouhai's area of *Spartina alterniflora*

收稿日期: 2017-05-31

作者简介: 陶艳成(1985—), 男, 助理研究员, 主要从事滨海湿地遥感与 GIS 应用相关研究工作。

* 国家科技基础性工作专项(2013FY111800)和广西科学院基本科研业务费项目(15YJ22HSL10, 13YJ22HS10, 2017YJJ23003)资助。

** 通信作者: 范航清(1964—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事典型滨海湿地生态系统生态学, 典型滨海生态系统保护、恢复与利用研究, E-mail: fanhq666@126.com。

was 317.89 hm², but the largest number of plaques was 2 777 in Lianzhou Bay. **【Conclusion】** The distribution information of *Spartina alterniflora* can be effectively extracted by high resolution satellite images. The *Spartina alterniflora* in Guangxi is in a rapid expansion, which spreads in space from east to west. the farthest space has reached to the west of the Dafengjiangkou beach tidal flat in Qinzhou City. The spread of *Spartina alterniflora* is in a rapid burst period in Lianzhou Bay. Marine ecosystems such as mangroves, seagrass beds and aboriginal salt marsh in nature reserves have been seriously threatened by *Spartina alterniflora*, and the ecological environment is not optimistic. It is suggested to strengthen the research on the diffusion and control mechanism of *Spartina alterniflora*.

Key words: *Spartina alterniflora*, invasive species, remote sensing monitoring, coastal intertidal zone

0 引言

【研究意义】生物入侵对滨海湿地生物多样性、原始生境系统的生态安全造成巨大的破坏,已引起国内外学者广泛关注,成为国内外研究热点问题之一^[1-2]。互花米草(*Spartina alterniflora*)隶属禾本科、米草属,是一种多年生草本植物,它起源于美洲大西洋沿岸和墨西哥湾,适宜生活于潮间带,具有超强的繁殖扩散能力^[3]。由于互花米草秸秆密集粗壮、地下根茎发达,能够促进泥沙的快速沉降和淤积,具有很好的护堤、促淤效果。基于上述原因,互花米草自1979年引入我国,在中国沿海地区迅速扩散并定居,形成了壮观的互花米草草滩^[4]。然而,近年来互花米草的快速扩散,对当地自然生态系统带来巨大负面影响,2003年我国将互花米草列为中国第一批16种外来入侵物种之一^[5]。截止2008年,中国沿海北至辽宁,南至广西,除台湾和海南省外,互花米草入侵面积已达34 451 hm²^[6]。广西沿海是我国海岸带重要的滨海湿地之一,由于优越的滩涂自然条件,互花米草引种以来在潮间带上繁殖迅速。根据广西红树林研究中心最新调查数据显示,2013年广西沿海滩涂互花米草达602.27 hm²,分布在东至英罗港湾,西至大风江东岸的海域滩涂上,并有进一步向钦州市和防城港市海岸扩散和蔓延的趋势^[7]。互花米草的大量繁殖,对原本生长在滩涂上的红树林、海草、土著盐沼植被等海洋生态系统造成严重的威胁和破坏,降低了当地的生物多样性^[8]。互花米草在广西海岸潮间带的迅速扩张和环境影响已经引起相关学者及当地政府部门的高度关注和重视。**【前人研究进展】**近年来,广西互花米草研究多集中于生态学和防护对策方面^[9-12],遥感监测研究其分布的较少^[13]。目前尚缺乏权威的广西互花米草空间分布最新调查数据,不利于开展相关的科学研究和防治。**【本研究切入点】**互花米草分布广、范围大,生长密集且多位于淤泥质滩涂,传统的人工调查方式时间长、难度大且效率低,难以获取实

测数据。随着3S技术的发展,利用遥感技术进行区域尺度下的互花米草监测研究已经被广泛报道^[14-16],但数据源多集中于Landsat等中尺度分辨率。**【拟解决的关键问题】**为快速掌握广西海岸潮间带互花米草的分布情况,本研究基于国产高分辨率高分一号(GF-1)卫星影像,结合野外调查和无人机航拍,以自然海湾为分析单元,对广西互花米草进行遥感监测和分析,旨在为广西潮间带互花米草的治理和研究提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 数据源及预处理

1.1.1 数据源

互花米草具有耐盐、耐淹、耐掩埋的特点,主要生长在海岸带的潮间带的高潮带上部至中潮带下部^[17-18],大多时间处于海水淹没状态,在低潮位时才能完全裸露,而广西近岸海域全日潮时间占60%~70%,潮差较大,沿岸各地最大潮差6.25 m,平均潮差2.42 m,属于强潮岸段^[19],故遥感影像的选取十分关键。高分一号(GF-1)卫星于2013年4月发射,其全色影像分辨率为2 m,多光谱影像分辨率为8 m,幅宽达60 km,重访周期为4 d,具有高空间分辨率和高时间分辨率的特点。为提高互花米草监测的精度,本研究采用国产高分辨率卫星影像GF-1号共9景作为影像数据源,时间跨度为2016年6—7月且能覆盖研究区域的影像。数据要求无云覆盖且为低潮位时段影像,通过查阅当地潮汐表,所选影像拍摄时间处于低潮位时间,影像基本符合研究要求。其他相关辅助数据还包括用于影像校正的0.5 m航空正射影像、覆盖研究区域的1:10 000地形图、野外踏勘RTK实测GPS控制点、30 m精度数字高程模型、收集的历年互花米草调查数据等。用于精度评价分析的影像为覆盖部分区域的同时段Quickbird影像,空间分辨率为0.61 m。无人机航拍抵近照片主要用于互花米草野外勘查验证。

1.1.2 数据预处理

应用 ENVI5.3 遥感图像处理平台,结合参考正射影像、地形图及实测 GPS 控制点等基础资料,对原始影像进行几何精校正,并作融合、空间增强、镶嵌及裁剪等处理。控制点选取待纠正影像和参考影像上均有的明显特征地物点,且均匀分布,误差控制在 0.5 个像元内。成果影像保持纹理清晰,色调均匀,便于分辨互花米草与其他植被。

1.2 方法

1.2.1 影像解译及野外验证

根据野外踏勘和历史调查数据,建立卫星影像遥

感解译标志,在此基础上采取人机交互式解译方法,在 ArcGIS 平台对广西海域滩涂互花米草进行目视解译。在影像判读过程中,比例尺尽量放大到使地物边界清晰,保证矢量边界与互花米草斑块边界重合,同时借助无人机航拍和历史调查数据提高解译精度。

将 2016 年互花米草信息提取结果与影像图叠加,生成野外调查底图,同时将矢量文件转化为 KMZ 文件导入手持电脑以便查询和导航,而后进行实地斑块验证、核查和修正,最后得到广西海岸潮间带互花米草空间分布数据(图 1)。

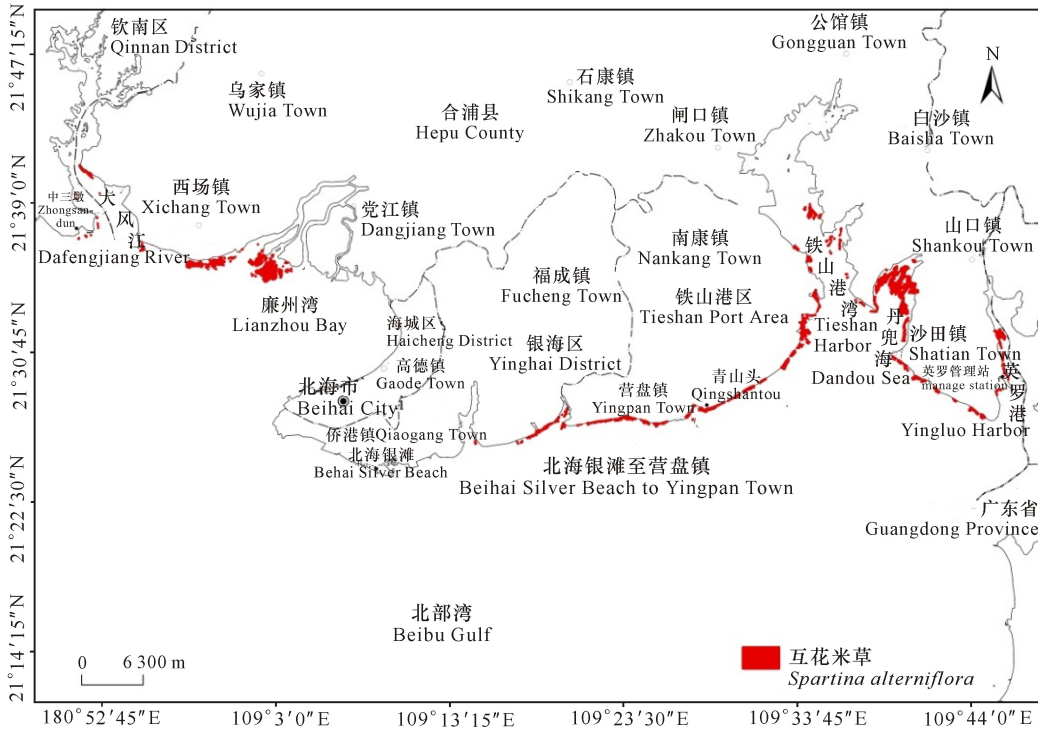


图 1 广西互花米草空间分布示意图

Fig. 1 Spatial distribution of *Spartina alterniflora* in Guangxi

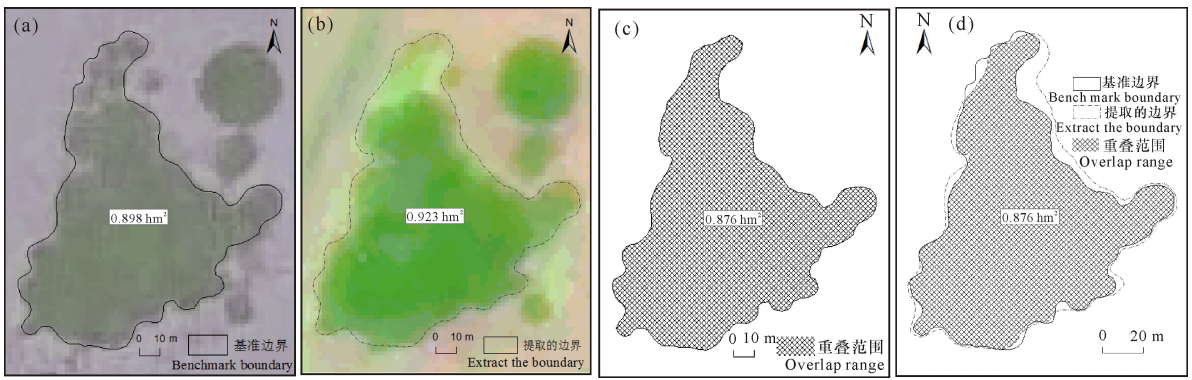
1.2.2 面积精度分析

采用对比法分析广西互花米草信息提取面积精度^[20-21],即在 GIS 技术的支持下,将待评估斑块面图层与基准(参考)斑块面图层叠置,按空间位置逐一斑块进行比对,根据面积误差率和斑块重叠率来检验解译精度。面积误差率 ER (%) 的计算公式为 $ER = (A_e - A) / A \times 100\%$; 斑块重叠率 OR (%) 的计算公式: $OR = A_{or} / A \times 100\%$ 。其中: A_{or} 为叠合面积,是指通过空间叠置分析得到的待评估斑块与基准(参考)斑块重叠部分的面积; A 为基准面积,是基准(参考)斑块的面积; A_e 为实际解译的面积。显然,重叠率越大,表明待评估斑块与基准斑块重叠的范围

越大,待评估斑块与基准斑块在空间位置上的误差越小。但重叠率达到 100% 时,表明 2 个斑块完全重合,待评估斑块与基准(参考)斑块在空间位置上不存在误差。原则是需利用更高精度影像解译成果来检验由本次遥感影像提取的解译成果。具体方法如下(以验证区域内随机单个斑块为例,图 2):

(1) 在 GIS 平台下对 Quickbird 图像进行几何校正后人机交互式解译,准确地提取每个互花米草斑块的边界并计算其面积,作为基准数据。

(2) 将基准数据和相对应的影像解译斑块数据进行叠加分析(Intersect),得到一个新的面图层(该图层为两者叠加的重合部分),计算该图层面积。



(a)以 Quickbird 提取的边界;(b)工作影像提取的边界;(c)对 a、b 叠加分析;(d)斑块重叠情况

(a)The boundary extracted by Quickbird,(b)The boundary extracted from the working image,(c)a and b overlay analysis,

(d)Results of plaque overlap

图 2 互花米草解译精度验证过程

Fig. 2 Verification process of interpretation accuracy for *Spartina alterniflora*

(3)逐一对参加验证的斑块进行面积误差和重叠率的计算。

随机选取廉州湾区域部分斑块进行验证。由 Quickbird 图像提取的该区域部分互花米草斑块总面积为 8.79 hm²,由 GF-1 影像提取的总面积为 8.91 hm²,通过叠加分析得到两者斑块重叠总面积为 8.63 hm²,互花米草总体面积误差为 1.3%,斑块面积总体重叠率达到了 98.2%,斑块面积和空间位置误差均较小,说明此次互花米草面积解译结果较为可靠。

2 结果与分析

2.1 互花米草空间分布

按照广西沿海行政区域进行互花米草的统计,结果见表 1。截止到 2016 年 7 月,广西海岸潮间带入

表 1 广西海岸各行政区互花米草分布状况

Table 1 *Spartina alterniflora* distributions in different coastal administrative regions of Guangxi

市 City	县/区 County/District	面积 Area (hm ²)	斑块数 Number of plaques (piece)	斑块平均面积 Plaque average area (hm ²)	斑块最大面积 Plaque maximum area(hm ²)	占总面积比例 The total area ratio (%)
北海市 Beihai City	海城区 Haicheng District	0.02	2	0.01	0.016	0.003
	合浦县 Hepu County	505.81	4 073	0.12	47.24	73.68
	铁山港区 Tieshangang District	156.41	990	0.16	17.36	22.79
	银海区 Yinhai District	23.67	105	0.23	6.61	3.45
	小计 Subtotal	685.91	5 170	0.13	47.24	99.92
钦州市 Qinzhou City	钦南区 Qinnan District	0.57	21	0.03	0.18	0.08
	小计 Subtotal	0.57	21	0.03	0.18	0.08
合计 Total		686.48	5 191	0.13	47.24	100.00

侵物种互花米草的分布面积为 686.48 hm²,斑块数量为 5 191 个,斑块平均面积为 0.13 hm²,其中最大斑块面积为 47.24 hm²。按照市级统计:北海市海滩互花米草分布面积为 685.91 hm²,占入侵总面积的 99.92%;钦州市海滩分布面积为 0.57 hm²,占入侵总面积的 0.08%。此次遥感调查未发现防城港市受到互花米草入侵。按照县级行政单位统计互花米草分布面积及比例:合浦县(505.81 hm², 73.68%)>铁山港区(156.41 hm², 22.79%)>银海区(23.67 hm², 3.45%)>钦南区(0.57 hm², 0.08%)>海城区(0.02 hm², 0.003%)。合浦县互花米草斑块数最多,为 4 073 个,银海区分布斑块数最少,目前调查发现为 2 个。

以自然港湾为分析单元统计互花米草入侵面积及比例(表 2),其中丹兜海、北海银滩至营盘镇分布面积较大,分别为 317.89 hm² 和 111.18 hm²,分别占广西海岸互花米草入侵总面积的 46.31%、16.19%;大风江河口地带分布面积最小,为 10.69 hm²,仅占入侵总面积的 1.56%;廉州湾、铁山港湾、沙田镇至英罗港湾分布面积分别为 96.01 hm²、83.40 hm²、67.31 hm²。廉州湾互花米草面积分布虽然较小,但斑块数量最大,为 2 777 个,属于互花米草扩散爆发期;大风江河口区域斑块数亦最小,为 96 个。丹兜海斑块平均面积最大,为 0.57 hm²,廉州湾则最小,仅为 0.03 hm²。

2.2 广西互花米草面积历史演变

互花米草自 1979 年在广西沿海滩涂引种以来,国内很多学者利用不同手段和方法对该区域互花米草的分布和扩散做了大量研究,本研究对已有文献数据进行统计^[7,13,22-24],结果见表 3。可以看出,20 世纪 70 年代末广西互花米草面积仅有 0.94 hm²,到了 2003 年,互花米草面积快速增加,已经扩张到 167 hm²,至 2016 年 7 月开始互花米草已经达到 686.48 hm²,比引种时期增加了 685.54 hm²,面积增长了 729 倍。可见,广西海岸潮间带互花米草的扩张正处

表 3 广西海岸互花米草面积监测研究状况

Table 3 *Spartina alterniflora* area of monitoring and research status in Guangxi coast

调查时间 Survey time	数据源 Data source	影像分辨率 Image resolution	数据获取方法 Data acquisition method	斑块数 Number of plaques	面积 Area (hm ²)	参考文献 References	调查单位 Survey unit
1979	引种 Introduction	—	—	—	0.94	[22]	—
2003	—	—	统计 Statistics	—	167.00	[10]	①
2008	—	—	GPS 绕测 GPS measurement	23	389.20	[13]	②
2009	卫片/航片 Satellite images/Aerial photo	—	影像解译 Image interpretation	—	300.00	[23]	③
2011	卫片/航片 Satellite images/Aerial photo	—	影像解译 Image interpretation	—	357.20	[23]	③
2013	GF-1,7 景(View)	2 m/8 m	—	—	—	—	—
	ZY-3,6 景(View)	2.1 m/6 m	—	—	—	—	—
	ZY102C,1 景(View)	2.36 m/10 m	影像解译 Image interpretation	3 623	602.27	[7]	②
2016	GF-1,9 景(View)	2 m/8 m	影像解译 Image interpretation	5 191	686.48	本次调查 This survey	②

注:①广西师范大学;②广西红树林研究中心;③环境保护部卫星环境应用中心

Note:①Guangxi Normal University;②Guangxi Mangrove Research Centre;③Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection

2.3 自然保护区互花米草分布情况

广西山口红树林国家级自然保护区由合浦县沙田半岛东侧的英罗港和西侧的丹兜海 2 个区域组成,

于急剧爆发阶段。

表 2 广西海岸各港湾互花米草分布状况

Table 2 *Spartina alterniflora* distributions in different bays along the Guangxi coast

港湾名称 Harbor name	面积 Area (hm ²)	斑块数 Number of plaques (piece)	斑块平均面积 Plaque average area (hm ²)	斑块最大面积 Plaque maximum area (hm ²)	占总面积比例 The total area ratio (%)
大风江 Dafengjiang River	10.69	96	0.11	6.84	1.56
廉州湾 Lianzhou Bay	96.01	2 777	0.03	6.76	13.99
北海银滩至营盘镇 Beihai Silver Beach to Yingpan Town	111.18	632	0.18	12.57	16.19
铁山港湾 Tieshan Harbor	83.40	657	0.13	17.36	12.15
丹兜海 Dandou Sea	317.89	558	0.57	47.24	46.31
沙田镇至英罗港湾 Shatian Town to Yingluo Harbor	67.31	471	0.14	8.15	9.80
合计 Total	686.48	5 191	0.13	47.24	100.00

总面积 8 000 hm²,其中海域总面积 4 970.5 hm²,岸线长度约 63.19 km。据文献[24]记载,2007 年山口红树林保护区内的互花米草面积为 206.7 hm²,其中

分布于丹兜海面积为 186.6 hm²,海塘海滩(英罗港区域)面积为 20.1 hm²。本研究结果显示,2016 年该保护区互花米草面积已增加到 336.35 hm²,其中分布于丹兜海面积为 317.89 hm²,英罗港海滩面积为 18.46 hm²,占整个保护区海域总面积的 6.77%。

广西合浦儒艮国家级自然保护区位于广西北海市合浦县境内,东起合浦县山口镇英罗港,西至沙田镇海域,海岸线全长约 43 km,总面积 350 km²,是我国目前唯一的以儒艮为主要保护对象的自然保护区,分布有大面积的海草生态系统,生物多样性丰富。然而,自互花米草引种以来,其大量繁殖对保护区内的红树林、海草床及海洋生物的生态环境构成严重威胁。根据苏伟等^[25]的调查,该自然保护区 2006 年互花米草入侵面积为 1.33 hm²;本次调查结果显示,互花米草面积已达到 48.85 hm²,占保护区总面积的 0.14%。

3 结论

广西海岸潮间带互花米草自 1979 年引种以来呈快速扩张趋势。截至 2016 年 7 月,广西互花米草分布面积为 686.48 hm²。若以行政区划分,北海市海滩互花米草分布面积最大,其次是钦州市,防城港市暂无互花米草入侵。若以港湾划分作对比,丹兜海、北海银滩至营盘镇海滩互花米草分布面积较大,大风江口海滩处于互花米草扩散的早期,目前分布面积最小;廉州湾海滩面积大,地势平坦,互花米草正处于快速爆发期。广西山口红树林国家级自然保护区和广西合浦儒艮国家级自然保护区的互花米草面积呈增加趋势。互花米草自东往西已扩张到钦州市大风江口西部海域滩涂,并有进一步往西扩张趋势,广西原始海洋生态系统的生态环境将受到严重威胁,应加强开展对互花米草的动态监测研究和治理工作。

参考文献:

[1] GEWIN V. Industry lured by the gains of going green [J]. Nature, 2005, 436(7048): 173.

[2] MOONEY H, CROPPER A, REID W. Confronting the human dilemma [J]. Nature, 2005, 434(7033): 561-562.

[3] GLEASON M L, ELMER D A, PIEN N C, et al. Effects of stem density upon sediment retention by salt marsh cord grass, *Spartina alterniflora* loisel [J]. Estuaries, 1979, 2(4): 271-273.

[4] 沈永明, 杨劲松, 曾华, 等. 我国对外来物种互花米草的研究进展与展望 [J]. 海洋环境科学, 2008, 27(4): 391-396.

SHEN Y M, YANG J S, ZENG H, et al. Review of stud-

ies on alien species *Spartina alterniflora* in China [J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(4): 391-396.

[5] 顾欣, 马力. 我国公布首批外来入侵物种名单 [J]. 生态经济, 2003(4): 78.

GU X, MA L. China announced the first batch of alien invasive species list [J]. Ecological Economy, 2003(4): 78.

[6] 左平, 刘长安, 赵书河, 等. 米草属植物在中国海岸带的分布现状 [J]. 海洋学报, 2009, 31(5): 101-111.

ZUO P, LIU C A, ZHAO S H, et al. Distribution of *Spartina* plantations along the China's coast [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2009, 31(5): 101-111.

[7] 潘良浩, 史小芳, 陶艳成, 等. 广西海岸互花米草分布现状及扩散研究 [J]. 湿地科学, 2016, 14(4): 464-470.

PAN L H, SHI X F, TAO Y C, et al. Distribution and expansion of *Spartina alterniflora* in coastal tidal zone, Guangxi [J]. Wetland Science, 2016, 14(4): 464-470.

[8] 陈中义, 李博, 陈家宽. 米草属植物入侵的生态后果及管理对策 [J]. 生物多样性, 2004, 12(2): 280-289.

CHEN Z Y, LI B, CHEN J K. Ecological consequences and management of *Spartina* spp. invasions in coastal ecosystems [J]. Biodiversity Science, 2004, 12(2): 280-289.

[9] 陈圆, 张新德, 韦江玲. 广西近岸海域互花米草侵害与防控方法分析 [J]. 南方国土资源, 2012(8): 20-22, 25.

CHEN Y, ZHANG X D, WEI J L. Analysis of invasion and control methods of *Spartina alterniflora* in coastal waters of Guangxi [J]. Southern Land Resources, 2012(8): 20-22, 25.

[10] 覃盈盈, 梁士楚. 外来种互花米草在广西海岸的入侵现状及防治对策 [J]. 湿地科学与管理, 2008, 4(2): 47-50.

QIN Y Y, LIANG S C. Current status and eradication strategy of invasive alien plants *Spartina alterniflora* in Guangxi [J]. Wetland Science & Management, 2008, 4(2): 47-50.

[11] 覃盈盈, 蒋潇潇, 李峰, 等. 山口红树林区互花米草有性繁殖期的生物量动态 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2083-2986.

QIN Y Y, JIANG X X, LI F, et al. Biomass dynamics of *Spartina alterniflora* at its sexual propagation stage in Shankou mangrove area of Guangxi, China [J]. Journal of Ecology, 2008, 27(12): 2083-2986.

[12] 赵彩云, 柳晓燕, 白加德, 等. 广西北海西村港互花米草对红树林湿地大型底栖动物群落的影响 [J]. 湿地科学, 2014, 22(5): 630-639.

ZHAO C Y, LIU X Y, BAI J D, et al. Impact of *Spartina alterniflora* on benthic macro-invertebrates communities on mangrove wetland in Xicungang Estuary, Guangxi [J]. Wetland Science, 2014, 22(5): 630-

- [13] 莫竹承,范航清,刘亮. 广西海岸潮间带互花米草调查研究[J]. 广西科学,2010,17(2):170-174.
MO Z C, FAN H Q, LIU L. Investigation on smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) along Guangxi coastal tidal zone[J]. Guangxi Sciences, 2010, 17(2): 170-174.
- [14] 刘永学,李满春,张忍顺. 江苏沿海互花米草盐沼动态变化及影响因素研究[J]. 湿地科学,2004,2(2):116-121.
LIU Y X, LI M C, ZHANG R S. Approach on the dynamic change and influence factors of *Spartina alterniflora* loisel salt-marsh along the coast of the Jiangsu Province[J]. Wetland Science, 2004, 2(2): 116-121.
- [15] 黄华梅,张利权. 上海九段沙互花米草种群动态遥感研究[J]. 植物生态学报,2007,31(1):75-82.
HUANG H M, ZHANG L Q. Remote sensing analysis of range expansion of *Spartina alterniflora* at Jiuduansha Shoals in Shanghai, China[J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(1): 75-82.
- [16] 潘卫华,陈家金,张春桂,等. 福建沿海水域互花米草蔓延的动态监测分析[J]. 中国农业气象,2011,32(S1):174-177.
PAN W H, CHEN J J, ZHANG C G, et al. Dynamic monitoring analysis of expansion of *Spartina alterniflora* in Fujian[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2011, 32(S1): 174-177.
- [17] 徐国万,卓荣宗. 我国引种互花米草的初步研究[J]. 南京大学学报,1985,40(2):212-225.
XU G W, ZHUO R Z. Preliminary studies of introduced of *Spartina alterniflora* loisel in China[J]. Journal of Nanjing University, 1985, 40(2): 212-225.
- [18] 刘永学,陈君,张忍顺,等. 江苏海岸盐沼植被演替的遥感图像分析[J]. 农村生态环境,2001,17(3):39-41.
LIU Y X, CHEN J, ZHANG R S, et al. Analysis of remote sensing images for vegetation succession on tidal saltmarsh in Jiangsu [J]. Rural Eco - Environment, 2001, 17(3): 39-41.
- [19] 梁士楚. 广西红树植物群落特征的初步研究[J]. 广西科学,2000,7(3):210-216.
LIANG S C. Characteristics of mangrove communities in Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2000, 7(3): 210-216.
- [20] 李春干. 红树林遥感信息提取与空间演变机理研究[M]. 北京:科学出版社,2013.
- LI C G. Remote sensing information extraction and spatial dynamics of mangrove distribution[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [21] 黄志行,沈华,彭欣,等. 乐清湾互花米草高分遥感监测研究[J]. 海洋开发与管理,2016,33(10):63-67.
HUANG Z X, SHEN H, PENG X, et al. Monitoring of *Spartina alterniflora* invasion by using high resolution satellite images in Yueqing Bay, Zhejiang Province[J]. Ocean Development and Management, 2016, 33(10): 63-67.
- [22] 吴敏兰,方志亮. 大米草与外来生物入侵[J]. 福建水产,2005,3(1):56-59.
WU M L, FANG Z L. Rice grass and outside living beings invading[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2005, 3(1): 56-59.
- [23] 万华伟,杨一鹏,王昌佐. 基于遥感技术的广西北海市入侵植物互花米草监测和动态扩展分析[C]//生物多样性评估国际研讨会论文集. 南京:中国环境科学学会,2013.
WANG H W, YANG Y P, WANG C Z. Dynamical monitoring of *Spartina alterniflora* loisel invasion using remote sensing data in Beihai, Guangxi[C]//International Symposium on Biodiversity Assessment. Nanjing: China Environmental Science Society, 2013.
- [24] 李武峥. 山口红树林保护区互花米草分布调查与评价[J]. 南方国土资源,2008(7):39-41.
LI W Z. Survey and evaluation of *Spartina alterniflora* in Shankou mangrove area of Guangxi, China [J]. Southern Land Resources, 2008(7): 39-41.
- [25] 苏伟,赖春苗,李凤华. 广西合浦儒艮国家级自然保护区大米草入侵现状及防治对策[C]//中国环境科学学会学术年会优秀论文集. 苏州:中国环境科学学会,2006.
SU W, LAI C M, LI F H. Grass invasion situation and control measures of natural reserve zone in Dugong of Hepu in Guangxi[C]//Proceedings of 2006 Academic Annual Meeting of Chinese Institute of Environmental Sciences. Suzhou: China Environmental Science Society, 2006.

(责任编辑:陆雁)