

乐清湾互花米草高分遥感监测研究

黄志行^{1,2}, 沈华^{1,2}, 彭欣^{1,2}, 荆长伟³, 朱迪^{1,2}

(1. 浙江省海洋水产养殖研究所 温州 325005; 2. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室 温州 325005;
3. 浙江大学海洋学院 杭州 310058)

摘要:生物入侵是当今世界亟待解决的环境问题之一,互花米草是我国典型的海岸带入侵物种。文章利用2013—2014年的SPOT6高分影像数据,结合无人机低空航拍和野外调查,对乐清湾互花米草的空间分布特征进行系统调查和分析。结果表明:高分遥感影像和面向对象分类技术可有效用于互花米草监测和信息提取;乐清湾滩涂上已形成较大规模的互花米草盐沼群落,分布面积近24 km²,且正处于迅速扩张阶段;湾内种质资源保护区和海洋特别保护区的环境现状不容乐观,互花米草对种质资源和红树林保护造成极大威胁。因此,互花米草的蔓延已严重影响乐清湾生态环境和区域经济发展,迫切需要实施科学的监测体系和治理措施。

关键词:遥感监测;互花米草;生物入侵;红树林;生态治理

中图分类号:P748;P237

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2016)10-0063-05

Monitoring of *Spartina Alterniflora* Invasion by Using High Resolution Satellite Images in Yueqing Bay, Zhejiang Province

HUANG Zhixing^{1,2}, SHEN Hua^{1,2}, PENG Xin^{1,2}, JING Changwei³, ZHU Di^{1,2}

(1. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China; 2. Zhejiang Key Lab of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-Resource, Wenzhou 325005, China; 3. Ocean College, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Biological invasion is one of the three important environmental problems, *Spartina alterniflora* is a typical coastal invasive species. Based on 2013—2014 SPOT6 images, the spatial dynamics of *Spartina alterniflora* in Yueqing Bay were analyzed. In situ data and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) images were used as supplementary data. The results showed that high resolution satellite images and object-based classification can be effectively used for coastal monitoring and information extraction. The area of *Spartina alterniflora* in research area was close to 24 km² and kept expanding rapidly in the past decade. The environment conditions of two protection zones are not optimistic. Consequently, scientific monitoring systems and control measures should be carried out urgently.

Key words: Remote sensing monitoring, *Spartina Alterniflora*, Biological invasion, Mangrove, Ecological management

收稿日期:2016-05-04;修订日期:2016-08-08

基金项目:浙江省省属科研院所扶持专项(2014F50022);温州市公益科技项目(N20140046);中央高校基本科研业务费专项(2015QNA4039)。

作者简介:黄志行,工程师,硕士,研究方向为海洋测绘、海洋渔业环境遥感,电子信箱:seamap@qq.com

通信作者:荆长伟,工程师,博士,研究方向为海岸带调查与环境遥感,电子信箱:changweij@zju.edu.cn

1 引言

生物入侵是当前世界最棘手的三大环境问题之一,植物入侵是生物入侵的典型一种^[1]。植物入侵是指外来入侵植物通过定居、建群和扩散占领栖息地,从而对土著物种和生态系统造成负面影响的一种生态现象^[2]。2003 年初,国家环保总局公布首批入侵我国的 16 种外来入侵物种名单,互花米草作为唯一的海岸盐沼植物名列其中。互花米草为禾本科米草属多年生草本植物,原产于大西洋沿岸,适宜生长在潮间中上带,曾被誉为保滩护堤、促淤造陆的最佳植物。我国于 1979 年引入互花米草,经人工栽种和自然扩散,现已扩张到我国沿海的大部分淤泥滩涂,除辽宁省外,其余沿海地区均形成不同规模的互花米草盐沼^[3]。虽然互花米草在保滩促淤上发挥出一定作用,但其危害也逐渐显现。由于互花米草根系发达、自然繁殖能力强,侵占滩涂,严重威胁滨海湿地土著物种^[4]。

乐清湾位于浙江省南部瓯江入海口北侧,是浙江省四大著名海湾之一,生态系统监控面积约为 464 km²,是一个典型的半封闭性海湾^[5]。乐清湾浅海滩涂面积广阔,海洋资源种类繁多,构成以丰富的海洋生物资源、全国纬度最北的红树林群落和多种珍稀鸟类为主题的滨海湿地生态系统。区内的乐清湾泥蚶种质资源保护区是浙江省唯一的国家级水产种质资源保护区,西门岛海洋特别保护区是中国第一个国家级海洋特别保护区,该海湾的生态环境一直是社会关注的焦点^[6]。20 世纪 80 年代乐清湾引种互花米草,虽然在促淤护滩方面取得一定的效益,但也带来较严重的生态、经济和社会危害。互花米草的快速扩张侵占大面积光滩、抬高滩面,造成局部航道堵塞、阻碍水体交换,严重影响滩涂养殖产业发展,也对红树林的引种培育构成极大威胁。根据 2015 年国家海洋局监测结果,与 1934 年相比,乐清湾自然水域实际面积缩小近 1/4,乐清湾生物栖息地环境处于亚健康状态^[7]。互花米草的快速扩张已成为影响该区域海洋经济发展和生态环境保护的重要问题之一。

对互花米草的监控整治和生态影响评估是目

前政府部门和科学家都非常关注的问题。由于互花米草生长在潮间带且生长茂密,人员船只难以进入,传统的人工调查方式难度较大;而遥感技术具有大尺度快速成像的特点,可有效弥补传统调查手段的不足^[8]。目前应用遥感信息研究互花米草动态变化已有报道,但主要是采用 Landsat 等中低分辨率卫星影像,高分辨率遥感影像应用相对较少^[9-12]。针对乐清湾互花米草监测的实际需求,本文基于 2013—2014 年的 SPOT6 遥感影像,结合野外调查和低空无人机航拍,对乐清湾互花米草的分布进行系统调查和分析,旨在为乐清湾互花米草整治工作提供科学数据支持和指导。

2 数据源及研究方法

2.1 数据源

2.1.1 SPOT 6 卫星影像

以往的研究成果多是基于 Landsat 卫星影像数据,为提高调查精度,本文使用 SPOT 6 高分辨率遥感影像作为研究分析乐清湾互花米草近况的主要数据。SPOT6 卫星于 2012 年发射成功,其全色图像地面分辨率为 1.5 m,4 个波段的可见光/近红外图像地面分辨率为 6 m,成像幅宽达 60 km。由于互花米草生长在潮间带区域,多数时间处于水淹状态,在低潮期才能完全出露,而乐清湾海域处于太平洋潮波系统的正规半日潮地区、潮差可达 6 m^[13],遥感影像的拍摄时间十分关键。本研究选用 2013 年 11 月和 2014 年 7 月的两景遥感影像,影像范围覆盖整个乐清湾;根据沿海潮汐资料,乐清湾的低潮时段分别为 2013 年 11 月 29 日 10:30 前后和 2014 年 7 月 9 日 12:00 前后,本研究所获取影像的拍摄时间正处于乐清湾低潮期且含水量较低,影像中滩涂和互花米草出露完整,影像质量符合调查基本要求。

2.1.2 无人机低空航拍影像

本研究选择美国 Trimble 公司的 UX5 无人机对乐清湾西门岛南部滩涂进行航拍,主要包括红树林种植培育区和互花米草整治示范区。UX5 无人机翼展 1 m,起飞重量 2.9 kg,续航时间 40 min,采用弹射起飞和机腹着落,飞行上限 5 000 m,通信控

制范围为 5 km,传感器采用索尼 NEX—5R 单反相机和 15 mm 焦距福伦达镜头。

本次航拍试点共飞行 3 个架次,航拍时间为 2014 年 7 月 29—31 日,均为低潮时段,飞行高度控制在 300~400 m。其中第一架次共获取航拍照片 230 张,影像地面分辨率 13.43 cm,覆盖面积 6.31 km²;第二架次共获取航拍照片 220 张,影像地面分辨率 13.47 cm,覆盖面积 6.72 km²;第三架次共获取航拍照片 112 张,影像地面分辨率 12.74 cm,覆盖面积 3.25 km²。

此外,研究数据还包括乐清湾 1:1 万地形图、25 m 分辨率数字高程模型、乡镇行政区划、海岸线边界、保护区四至及相关功能区划资料等。

2.2 数据预处理

本研究在 ENVI5.2 平台上完成 SPOT6 遥感影像的预处理,主要包括全色和多光谱影像正射校正、影像融合及几何裁剪等。正射校正采用 RPC Orthorectification Workflow 工具,在 1:1 万地形图上选取易于识别且均匀分布的同名地物点作为控制点,均方根误差(RMSE)控制在 0.5 个像元之内;影像融合采用 Gram-Schmidt Pan Sharpening 方法。

对于无人机航拍影像,采用 PIX4DMapper 软件进行处理,该软件支持多架次的合并飞行任务处理,操作简便,可自动完成空三计算,提供数字正射影像、数字表面模型(DSM)、三维点云和精度报告。

2.3 影像解译

本研究采用基于面向对象分类法对 SPOT6 高分辨率影像数据进行信息分类提取,处理软件选用易康(eCognition Developer)。该软件充分利用对象信息(色调、形状、纹理、层次)和类间信息,其基本原理是根据像元的形状、颜色、纹理等特征对图像进行分割,然后根据每一个分割影像对象的特征对这些影像对象采用最邻近分类方法进行分类处理。

本研究定义建筑(built-up)、互花米草(spartina)、滩涂养殖(fish)、光滩(ground)、陆生植被(plant)、水域(sea)这 6 种特征类型,每一类都分别选取 4 个波段的平均值(Mean)、亮度值(Bright-

ness)、归一化植被指数(NDVI)等 6 种光谱特征信息。根据之前野外调查和影像判读情况选取 6 种特征类型作为影像的样本区域,并通过最邻近分类法进行分类,将分类的结果进行处理,用人机交互的方法将误分、错分和漏判的对象进行甄别并加以修正,单独提取出互花米草的分类结果。

2.4 野外核查

根据遥感影像解译分类过程中遇到的问题,选择有代表性的路线进行野外核查,以此修正计算机分类过程中可能出现的误判。外业调查采用华星 A8—RTK 设备,根据 ZJCORS 系统进行高精度 GPS 定位,选取互花米草监测点获取相应点位信息。同时收集能反映区域互花米草相关问题的野外照片、影像资料,为今后互花米草的整治和防控提供基础数据。

3 结果与分析

3.1 精度与误差

3.1.1 分类精度

易康软件中提供 Error Matrix based on TTA MASK 和 Error Matrix based on Samples 等 2 种精度评价方式,前者是基于像素的精度评价,后者是基于对象的精度评价,2 种方式的分类精度评价指标一致,总体分类精度和 Kappa 系数反映整个图件的分类精度。本研究选用第二种方式进行评价,精度分析结果如表 1 所示。

表 1 面向对象分类方法误差矩阵

特征类型	滩涂养殖	水域	互花米草	光滩	建筑	陆生植被
滩涂养殖	103	1	0	6	2	0
水域	3	187	0	0	0	0
互花米草	0	0	111	0	4	9
光滩	0	0	0	28	2	0
建筑	0	0	0	0	27	1
陆生植被	0	0	3	0	0	226

本研究的面向对象分类总体分类精度达到 95.51%,Kappa 系数为 0.941 7,分类结果比较理想。SPOT6 影像较高的空间分辨率和成像质量是分类精度较高的主要原因,除此之外,研究区内相对简单的地物组成也是重要因素。从分类结果可

以看出,部分地物的分类仍存在误分,主要表现在滩涂养殖、光滩、互花米草和陆生植被。其中,围堰高度和留存海水量是影响滩涂养殖分类精度的主要因素;乐清湾红树林主要分布在西门岛北侧生态站和西部展览区,区域内红树林和互花米草混生,影响陆生植被分类精度,需要结合目视解译和实地调查进行修正。

3.1.2 面积误差

互花米草遥感分类的面积误差主要由地类间混合像元点的几何分辨率决定。本研究采用 1.5 m 分辨率的 SPOT6 卫星影像对互花米草近况进行遥感分类,解译边界与实际边界的最大理论误差为 1/2 像元点,偏离像元中心点的最大误差为 0.75 m。图斑边界线总误差是混合像元点几何分辨率误差和解译过程中偏离误差的叠加,最大误差值为 1.5 m。

根据研究需要以及方便卫星影像分类面积误差分析,本文采用对比法对 SPOT6 影像的互花米草分类面积精度进行验证,即在互花米草图斑中选取一定数量的样点数据,对照无人机航拍影像,比较 2 种影像的分类面积,并对面积误差进行统计。计算公式为:

$$Z = \left[1 - \frac{|\sum A_i - \sum B_i|}{\sum B_i} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中:Z 为图斑面积相对精度; A_i 为 SPOT 6 影像互花米草分类图斑面积; B_i 为无人机航拍影像互花米草图斑面积。

选择西门岛南端部分区域作为面积精度验证区,SPOT6 遥感影像互花米草分类面积为 7 892.4 m²,无人机航拍影像互花米草勾绘面积为 7 767.5 m²,面积统计误差为 1.6%。依据 1:1 万土地利用现状调查精度要求,图斑面积相对误差应小于(等于)5%,因此 SPOT 6 影像满足 1:1 万比例尺下遥感调查精度要求,可认为本次互花米草调查结果较为可靠。

3.2 乐清湾互花米草历史演变

上述分析结果显示,乐清湾于 2013 年已形成总面积达 23.70 km² 的互花米草群落,潮滩覆被发生显著变化,大面积光滩已被互花米草侵占。参照已有研究成果^[14],对乐清湾 1991—2013 年互花米草

扩张情况进行统计分析,可以看出,乐清湾沿岸潮滩从 20 世纪 90 年代初开始有互花米草分布,1991 年乐清湾互花米草的面积是 0.01 km²;1991—1999 年互花米草在乐清湾扩张缓慢,期间互花米草面积仅增加 1.11 km²;从 2003 年开始互花米草面积急剧增加,至 2013 年乐清湾互花米草面积已达到 23.70 km²,比 2003 年增加 16.70 km²(图 1)。

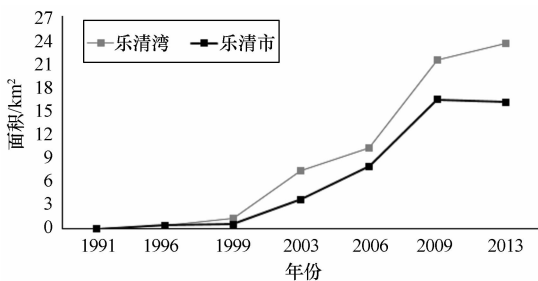


图 1 1991—2013 年乐清湾/乐清市互花米草面积变化

3.3 乐清湾互花米草空间分布特征

3.3.1 乡镇互花米草分布

参照乐清市乡镇区划,对 2013 年各乡镇互花米草面积进行调查统计。2013 年乐清市互花米草总面积为 16.17 km²,其中雁荡镇和清江镇分布面积较大,分别为 5.53 km² 和 4.38 km²,占全市总面积的 34.2% 和 27.1%;柳市镇分布面积最小,为 0.27 km²,仅占全市总面积的 1.7%;翁垟街道、盐盆街道、城东街道、虹桥镇、大荆镇分布面积分别为 1.86 km²、1.14 km²、0.62 km²、1.89 km²、0.48 km²。乐清湾内台州市互花米草分布面积共 7.53 km²,主要分布在大横床岛及其北部高滩、玉城街道沿海滩涂、清港镇小青村及大麦屿街道沿海滩涂。

3.3.2 种质资源保护区互花米草分布

乐清湾泥蚶水产种质资源保护区位于浙江省乐清湾北部(清江口 28°15′46.63″N 以北),四至范围拐点坐标分别为 A(121°11′08.50″E、28°21′17.35″N)、B(121°11′00.59″E、28°21′26.15″N)、C(121°10′06.79″E、28°21′11.28″N)、D(121°10′15.84″E、28°20′51.27″N),面积共计 63.31 hm²,主要保护对象为泥蚶,其他保护物种包括缢蛏、牡蛎、彩虹明樱蛤、青蛤等。保护区内互花米草面积为 8.7 hm²,占整个保护区面积的 13.7%。区内只有西门岛大桥西侧部分区域没有互花米草分布,其他区域互花米草已呈较密集分

布态势,并已蔓延至白溪滩涂边界,对滩涂贝类栖息环境产生较大影响。

3.3.3 海洋特别保护区互花米草分布

西门岛海洋特别保护区是我国第一个国家级海洋特别保护区,由西门岛适度利用区、南涂适度利用区、生态与资源恢复区和红树林重点保护区等功能区组成,总面积为 30.8 km²。根据《浙江省乐清市西门岛海洋特别保护区总体规划(2012—2030 年)》,2006 年该区域互花米草面积为 2.91 km²;本研究结果显示:2013 年该区域互花米草面积已增加到 5.99 km²,占整个保护区面积的 19.4%。

其中,白溪港东侧大横床岛以北区域互花米草已连成一片,长度近 6 km,分布十分密实;生态与资源恢复区内互花米草分布较为集中,面积为 2.54 km²,占该区域面积的 52%;南涂适度利用区内互花米草面积为 3.37 km²,主要分布在中部区域;西门岛西北和东南部区域滩涂主要用于贝类养殖,互花米草受人类活动影响较大,呈零散分布;互花米草已扩张到红树林幼苗种植区,并且有进一步恶化的趋势,已对保护区内的红树林生长环境造成较大影响。

4 结论与建议

乐清湾是浙江省较为典型的半封闭海湾,潮间带滩涂主要为淤泥质潮滩,滩涂面积约占整个海湾面积的 50%。互花米草主要生长在平均海平面至平均高潮位之间的滩面,乐清湾的气候、水文及淤泥底质为互花米草的传播提供适宜的条件。本研究利用 SPOT6 卫星遥感影像和低空无人机航拍,结合野外调研,对乐清湾互花米草空间分布进行系统调查和分析,主要结论如下:

(1)乐清湾内互花米草自 2003 年以来呈快速扩张趋势,SPOT6 卫星影像解译结果面积为 23.7 km²。大面积的互花米草盐沼对潮滩环境和区域经济发展造成较大影响,迫切需要实施科学的监测体系和治理措施。

(2)湾内的种质资源保护区和海洋特别保护区环境现状不容乐观,互花米草快速扩张极大威胁种质资源和红树林保护,需引起有关部门高度重视。

(3)相比传统方法,利用遥感技术可以很好地对互花米草进行动态监测分析。高分遥感可以提供较高分辨率的影像,面向对象分类方法可以快速提取相关信息。鉴于 SPOT6 影像的价格仍然相对较高,未来可利用国产高分卫星影像开展进一步分析。

参考文献

- [1] 王卿,安树青,马志军,等.入侵植物互花米草—生物学、生态学及管理[J].植物分类学报,2006,44(5):559—588.
- [2] 袁月,李德志,王开运.芦苇和互花米草入侵性研究进展[J].湿地科学,2014,12(4):533—538.
- [3] LU J,ZHANG Y. Spatial distribution of an invasive plant *spartina alterniflora* and Its potential as biofuels in China[J]. Ecological Engineering,2013,52(2):175—181.
- [4] 杨东,万福绪.外来入侵物种互花米草的研究进展[J].植物保护,2014,40(2):5—10.
- [5] 罗锋,廖光洪,杨成浩,等.乐清湾水交换特征研究[J].海洋学研究,2011,29(2):79—88.
- [6] 李利红,张张国,史爱琴,等.基于 RS/GIS 的西门岛海洋特别保护区滩涂湿地景观格局变化分析[J].遥感技术与应用,2013,28(1):129—136.
- [7] 国家海洋局东海分局.2014 年东海区海洋环境公报[R].上海:国家海洋局东海分局,2015:12.
- [8] 孙飒梅.三都湾互花米草的遥感监测[J].台湾海峡,2005,24(2):223—227.
- [9] 李玉华,梁福根,严丽华.温州沿海互花米草变迁及其与滩涂开发响应[J].海洋环境科学,2009,28(3):324—328.
- [10] 潘卫华,陈家金,李丽纯,等.福建罗源湾互花米草的遥感动态监测[J].中国农学通报,2009,25(13):216—219.
- [11] 刘春悦,张树清,江红星,等.江苏盐城滨海湿地外来种互花米草的时空动态及景观格局[J].应用生态学报,2009,20(4):901—908.
- [12] 孙贤斌,刘红玉.基于 Markov-CA 模型互花米草扩张影响因素与强度辨识[J].生态与农村环境学报,2014,30(1):38—43.
- [13] 杨成浩,廖光洪,罗锋,等.乐清湾的潮位、潮流和余流特征[J].海洋学研究,2010,28(2):1—12.
- [14] ANQI W,JIADAI C,CJANG wei J,et al. Monitoring the invasion of *spartina alterniflora* from 1993 to 2014 with landsat TM and SPOT6 satellite data in Yueqing Bay, China. [J]. Plos One,2015,8(10):10—11.