



孙艳伟,廖宝文,管 伟,等.海南东寨港红树林急速退化的空间分布特征及影响因素分析[J].华南农业大学学报,2015,36(6):111-118.

海南东寨港红树林急速退化的空间分布特征 及影响因素分析

孙艳伟¹,廖宝文¹,管 伟¹,王荣丽¹,丁冬静¹,钟才荣²

(1 中国林业科学研究院 热带林业研究所,广东 广州 510520; 2 海南东寨港国家级自然保护区管理局,海南 海口 571129)

摘要:【目的】对我国一些红树林湿地生态系统近期出现的急速退化现象作相关分析。【方法】以海南东寨港整个港湾红树林区为研究典型区域,应用3S技术,分析近30年间东寨港红树林湿地景观格局的演变过程;同时采用高分辨率影像数据,聚焦分析了演丰东河沿岸、塔市及三江3个片区红树林群落退化特征及空间分布规律;结合大量野外样方调查数据,系统分析了近海岸红树林生态系统退化的主要影响因素。【结果和结论】从1999—2013年,东寨港红树林面积由1 709.4 hm²减少至1 679.5 hm²,年均减少2.1 hm²。而沿海岸线2 km缓冲区范围内,周边养殖塘面积则由1987年的59.1 hm²增至2013年的1 986.9 hm²。截止2013年,东寨港红树林枯死面积约为4 hm²。从空间分布上来看,红树林枯死群落主要分布于地形低洼积水处或污染物传输通道两侧。东寨港河流型红树林群落退化最为严重,集中分布于演丰东河中下游河段;同时,近海湾的前沿地段也有退化群落零星分布。处于地带性演替后期的红树林群落,退化程度较高。陆源污染物输入强度是影响红树林退化群落分布的重要因素。

关键词:东寨港;红树林;退化特征;空间分布;影响因素
中图分类号:Q149 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2015)06-0111-08

Spatial patterns and environmental factors of rapidly degraded mangroves at Dongzhaigang Harbor in Hainan

SUN Yanwei¹, LIAO Baowen¹, GUAN Wei¹, WANG Rongli¹, DING Dongjing¹, ZHONG Cairong²

(1 Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China;
2 Hainan Dongzhaigang National Natural Reserve Authority, Haikou 571129, China)

Abstract:【Objective】The purpose of this study was to analyze mangrove degradation in some coastlands of southern China. 【Method】Mangrove of Dongzhaigang Harbor in Hainan Province was investigated as a case study. Landscape pattern dynamics of mangrove wetland from 1987 to 2013 were analyzed at Dongzhaigang Harbor by interpreting five phase remote sensing images. The degradation characteristics of mangrove forest and its spatial patterns were also further studied using SPOT5 and aerial imagery. Furthermore, the influencing factors of mangrove degradation such as topographical factors and terrestrial contaminant loading were analyzed by surveying numerous sampling plots. 【Result and conclusion】It was found that mangrove area decreased from 1 709.4 hm² in 1999 to 1 679.5 hm² in 2013, while the area of ponds in the 2 km coastal buffers increased from 59.1 hm² in 1987 to 1 986.9 hm² in 2013. The dead area of mangrove patches had reached 4 hm² by the end of 2013. Spatially, mangrove degradation mainly located in low-lying land and both sides of contaminant transport channels. The degradation degree of River-type mangrove communities was the most serious, whose major distribution was in the middle and lower rea-

收稿日期:2014-11-09 优先出版时间:2015-10-16
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20151016.1631.034.html>
作者简介:孙艳伟(1983—),男,助理研究员,博士,E-mail:sunyanwei2002@126.com;通信作者:廖宝文(1963—),男,研究员,博士,E-mail:baowenliao@ritf.ac.cn
基金项目:科技部林业公益性行业科研专项(201404305);国家自然科学基金(41176084);国家林业局海南东寨港红树林生态站项目

ches of Yanfengdong River. Meanwhile, the degraded mangrove communities also distributed sporadically in frontier areas of Dongzhaigang Harbor. The degradation degree was higher for mangrove communities in the climax stage of succession. The distribution of degraded mangrove communities was mainly determined by terrestrial pollutant loading.

Key words: Dongzhaigang Harbor; mangrove forest; degradation characteristic; spatial pattern; influencing factor

长期以来,地处热带和亚热带海岸潮间带的红树林群落正经历着严重的退化过程^[1]. 在发展中国家,红树林的退化速度甚至超过很多其他热带树种^[2]. 人类活动对红树林生态系统服务功能的影响可分为积极影响和消极影响. 积极影响主要有生态系统管理、生态工程、生态恢复与重建、生态评价与规划等;消极影响包括围垦、砍伐、采矿、挖捕动物、海水养殖、污水排放、旅游等^[3]. 我国沿海区域海岸带占国土面积 13%,承载着约 40% 的全国人口,创造了约 60% 的 GDP^[4]. 沿海区域经济的高速发展和快速的城市化建设直接吞噬和影响滨海红树林湿地生态系统,土地利用的变化和陆源污染物的大量输入使红树林面积不断缩减、生态功能急剧衰退^[5]. 因此,研究滨海红树林生态系统的退化过程及其机制对红树林湿地资源的保护和恢复具有重要的科学意义和现实意义.

海南东寨港是我国最典型、最原始的天然红树林分布区^[6]. 近年来,东寨港红树林区出现一定范围的海洋污损动物——团水虱(*Sphaeromadae*)危害,已造成了红树林死亡现象,引起了政府和社会的高度关注^[7]. 影响团水虱分布的因素复杂多样,既包括红树林的群落特征、立地条件(地形因子、水质因子),也包括陆源污染物的输入等人类活动的扰动. 而目前学者对影响团水虱地理分布的相关环境因子尚未形成确定的结论. Brook^[8]认为佛罗里达湾北部红树林中团水虱的分布与温度、盐度、pH 等水质因素没有显著性关系,并认为其他钻孔动物对团水虱的分布起一定限制作用. 邱勇等^[9]认为东寨港红树林区水体中总氮、总磷含量和浮游生物量是影响光背团水虱分布的主要水质因子,并且网纹藤壶是光背团水虱在垂直分布上的限制因素. 本文借助 5 期 Landsat 卫星影像及近期高分辨率航拍数据,结合实地踏勘调查,对整个东寨港湾红树林群落的退化特征及其空间分布规律进行了系统的调查研究,同时还进一步深入分析了地形以及陆源污染物的输入强度等环境因子对红树林群落退化的影响.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

海南东寨港红树林区(指东寨港整个港湾区域)
<http://xuebao.scau.edu.cn>

位于海口市美兰区东北部(110°30′~110°37′E, 19°51′~20°01′N),目前拥有红树林总面积约为 1 679.5 hm². 该区域属典型的热带季风海洋性气候,年平均气温 23.3~23.8℃,极端最高气温 38.9℃,极端最低气温 2.6℃;年均日照 2 000 h 以上;年均相对湿度 85%;年均降水量 1 676.4 mm;潮型为不规则的半日潮^[6]. 东寨港红树林树种主要有:白骨壤 *Avicennia marina*、桐花树 *Aegiceras cornicu latum*、木榄 *Bruguiera gymnorrhiza*、秋茄 *Kandelia obovata*、角果木 *Cerriops tagal*、海莲 *B. sexangula*、海漆 *Excoecaria agallocha*、榄李 *Lumnitzera racemosa*、红海榄 *Rhizophorasty losa*、老鼠簕 *Acanthus ilicifolius* 等.

近半个世纪以来,在经济利益的驱使下,整个东寨港围垦、毁林建塘、过度旅游开发等现象不断涌现,致使红树林群落呈现不断退化的趋势. 据不完全统计,20 世纪 60 年代至今,由于围垦,海南东寨港红树林面积减少近 50%^[10]. 近几年,团水虱爆发是导致红树林死亡退化的直接原因. 尽管保护区管理局采取了人工种植、关闭养鸭塘、禁止围垦和新建虾塘等多项措施,并取得了一定成效,但红树林退化现象并没有得到有效控制.

1.2 研究方法

1.2.1 红树林植被提取 本研究所选用的数据主要来源于 5 期 Landsat 卫星影像,主要包括 LT51230461987253BJC00、elp123r046 _ 7t19991224、LT51230462004044BJC00、LT51230462009281BJC00、LC81230462013180LGN00;结合研究区 1:10 000 地形图,在 ENVI5.0 平台下,采用二次多项式纠正法对覆盖研究区的 5 期遥感影像进行几何校正(误差不超过 0.5 个像元)、图像增强和区域剪切等处理. 根据野外现场调查及专家经验,采用目视解译法,提取研究区海陆边界 2 km 缓冲区范围以内的水产养殖塘区. 实地踏勘调查发现,东寨港红树林主要分布于距海岸线 1 km 缓冲区范围内. 基于此,本文参考 Liu 等^[11]提出的基于辅助数据的专家决策树红树林分类思路,采用分类回归树分析(CART),整合研究区 DEM、海陆分界线以及 NDVI 等辅助数据,分别构建了 5 期东寨港红树林分类的专家决策树,结果显示红树林分类精度达到 90%.

1.2.2 退化红树林群落提取 为准确提取枯死红

树林群落的分布及面积,采用 2012 年 2 月 24 日 SPOT5 遥感影像及近期高分航拍影像为数据源,经几何校正、区域裁切后,结合专家目视解译,获取东寨港枯死红树林群落的空间分布及面积。

1.2.3 红树林退化样方调查 考虑到红树林团水虱危害发生的立地条件及群落结构的差异性,分别在东寨港红树林区的塔市、演丰东河及三江等 3 个片区典型区域共设置 28 个固定样方,样方尺寸为 10 m × 15 m。于 2013 年 7 月和 10 月对整个东寨港红树

林区的退化情况进行了现场踏勘调查,调查记录每个样方的直角坐标系、不同树种个体数、郁闭度及树均高,同时记录样方对角线上每株树木的种类、胸径、冠幅、蛀蚀高度以及蛀蚀等级等参数,并计算每个样方的死亡率和退化率。调查样方的布设情况详见图 1。依据树木主干、气生根的蛀蚀程度以及枝叶凋落程度将树种退化程度划分为 6 个等级,退化等级由低到高依次为健康、1 级、2 级、3 级、4 级和 5 级,退化等级越高表明树木的蛀蚀程度越严重。

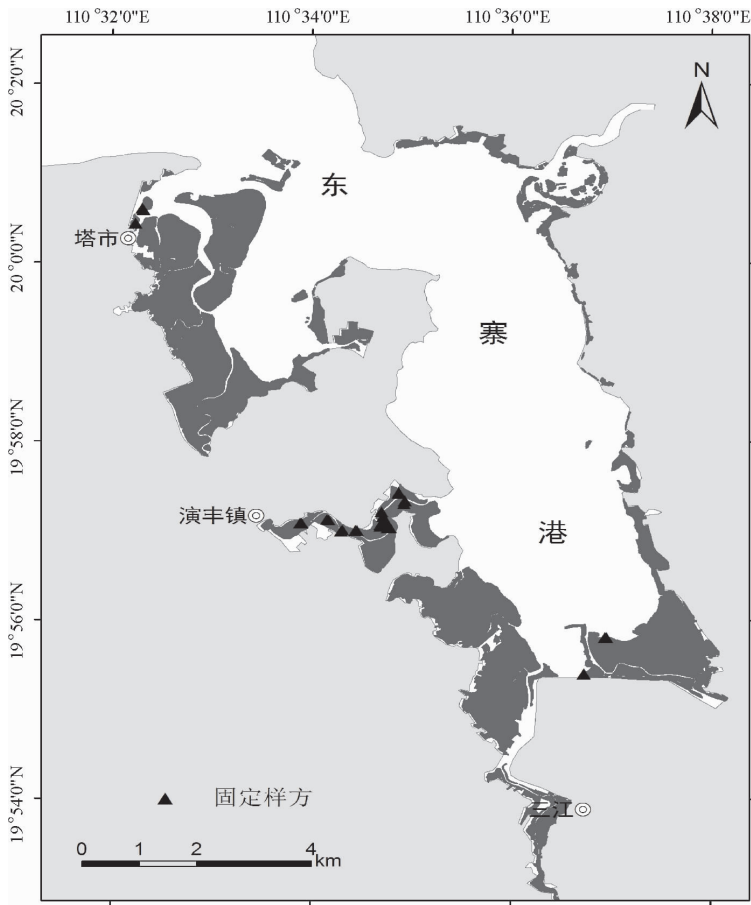


图 1 东寨港红树林群落调查样方位置示意图

Fig. 1 The location map of sampling plots of mangrove forest in Dongzhagang Harbor

1.2.4 相关环境因子的获取 选取高程、坡度、坡向等地形因子以及陆源污染物输入强度作为红树林退化的影响因子。其中,地形因子数值应用 ArcGIS 软件的空间分析功能提取每个样地所处空间网格的栅格值。而陆源污染物输入强度主要考虑临近海岸线 2 km 缓冲区范围内的陆源总 N(TN)、总 P(TP)等营养物质的年输出负荷量。首先,应用 ArcGIS 软件将研究区划分为 2 km × 2 km 网格,然后将 2013 年土地利用图层与网格进行空间关联,统计每个网格内各土地利用类型的面积,最后采用经典的 Johns 输出系数法估算每个网格的陆源面源污染负荷量,输出系数参见表 1。

表 1 研究区 N、P 输出系数¹⁾

Tab.1 Nitrogen and phosphorus export coefficients in the study area

养分	农田	林地	裸地	建设用地	草地	养殖塘
总 N	3.720	0.438	1.490	1.100	1.100	4.170
总 P	0.364	0.035	0.051	0.025	0.068	0.367

1)表中数据来源于文献[12-13]。

演丰东河为内陆淡水河流,自西向东汇入东寨港。为分析陆源污染负荷输入对河流型红树林退化的影响,本文采用 SWAT 模型将演丰东河流域划分为 15 个子流域单元,同时利用 Johns 输出系数法估算每个子流域陆源面源污染负荷输出量,主要考虑

http://xuebao.scau.edu.cn

TN、TP 等营养物质负荷量.

基于样方调查及相关环境因子提取,应用 Spearman 相关性分析方法,定量分析红树林群落退化程度(样方的死亡率、退化率)与立地条件(包括 Shannon – Wiener 指数^[14]、地表高程、坡度及坡向等)、陆源污染物输入强度(TN、TP 等陆源营养物质输入负荷量等)等环境因子的关联性.

2 结果与分析

2.1 近 30 年红树林面积动态变化

利用 1987、1999、2004、2009 和 2013 年等 5 个时相的 Landsat 卫星影像,提取得到东寨港近 30 年来红树林空间分布特征,面积动态变化情况见表 2 和图 2. 从统计结果来看,近 30 年来东寨港红树林面积呈现先增加后缩减的趋势,同时斑块破碎化不断加剧. 自 1986 年东寨港升级为国家级红树林自然保护区以后,随着管理力度的加强,红树林得到保护和恢复. 至 1999 年为止,整个港湾红树林面积达到 1 709. 4 hm²,与 1987 年相比面积增加了 11. 18%. 但自此以后,在经济利益的驱使下,港湾内围垦、毁林建塘、过度旅游开发等现象不断涌现,红树林滩涂区域不断被挤占和破坏,致使红树林面积不断缩减. 自 2009 年以来,局部区域团水虱危害严重,进一步加剧了红树林群落的退化. 截止 2013 年,东寨港红树林面积约为 1679. 5hm²,与 1999 年相比减少了 29. 9

hm²,年均减少 2. 1 hm². 另外,遥感影像判读结果显示,沿海岸线 2 km 缓冲区范围内,周边养殖塘面积由 1987 年的 59. 1 hm² 增至 2013 年的 1 986. 9 hm²,增加了 33 倍.

由图 2 可见,红树林斑块面积的缩减主要表现为斑块边缘萎缩和潮沟切割所致的斑块内部退化. 在海岸带开发过程中,对河流 – 潮汐通道截弯取直以及旅游船舶引起的频繁巨浪都造成红树植物的死亡和退化^[15]. 岸边畜禽养殖、陆源污染物的排放以及东寨港的旅游开发等人类开发活动改变了红树林生态系统的生境、结构和生物地化循环,从而引起了生态系统服务功能的降低. 潮沟是海陆物质交换的主要通道^[16]. 自 1987 年以来,红树林斑块内部的潮沟呈增多的趋势,直接导致同一斑块割裂为几个,破碎化加剧.

表 2 1987—2013 年东寨港红树林面积变化情况
Tab. 2 Changes of mangrove area in Dongzhaigang Harbor from 1987 to 2013

年份	红树林	面积	斑块数量/ 个	养殖塘 面积/hm ²
	面积/hm ²	变化率/%		
1987	1 537. 5		114	59. 1
1999	1 709. 4	11. 18	156	884. 1
2004	1 688. 3	-1. 23	197	1 387. 3
2009	1 683. 9	-0. 26	208	1 956. 1
2013	1 679. 5	-0. 26	221	1 986. 9

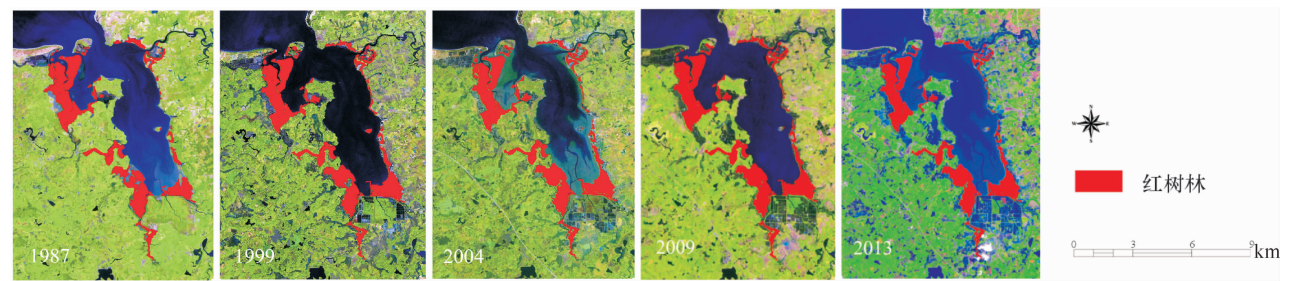


图 2 1987—2013 年东寨港红树林分布动态变化
Fig. 2 Dynamic changes of mangrove distribution in Dongzhaigang Harbor from 1987 to 2013

2.2 红树林群落退化特征分析

2.2.1 红树林退化群落的空间分布特征 自 2009 年以来,团水虱大量爆发,导致部分区域红树林大面积枯死,红树林湿地生态系统退化严重. 东寨港红树林可分为河流型红树林群落(演丰东河片区)和前沿型红树林群落(塔市、三江片区)2 个类型. 经过全面实地踏勘调查及近期高分遥感影像分析显示,东寨港红树林区范围内团水虱危害地理空间分布广泛. 从东寨港河流型红树林分布来看,河流中下游红树

http://xuebao.scau.edu.cn

林群落退化严重,同时,近海湾的前沿地段退化群落有零星分布. 由团水虱蛀蚀形成大小不等的林窗斑块共 27 块,总枯死面积约为 4 hm²,年均枯死面积 0. 8 hm²(图 3). 从空间分布来看,塔市红树林片区出现 4 个斑块(0. 738 hm²),分布于靠近陆地一侧,主要危害树种为白骨壤;演丰东河红树林片区出现 21 个斑块(3. 17 hm²),分布于河流的中下游区域,主要危害树种为木榄、海莲、尖瓣海莲等处于演替后期的树种;三江红树林片区出现 2 个斑块(0. 087 hm²),

分布于潮滩前沿,主要危害树种为秋茄. 以上结果说明 树种是团水虱危害的主要对象. 明,对于河流型红树林群落,处于地带性演替后期的

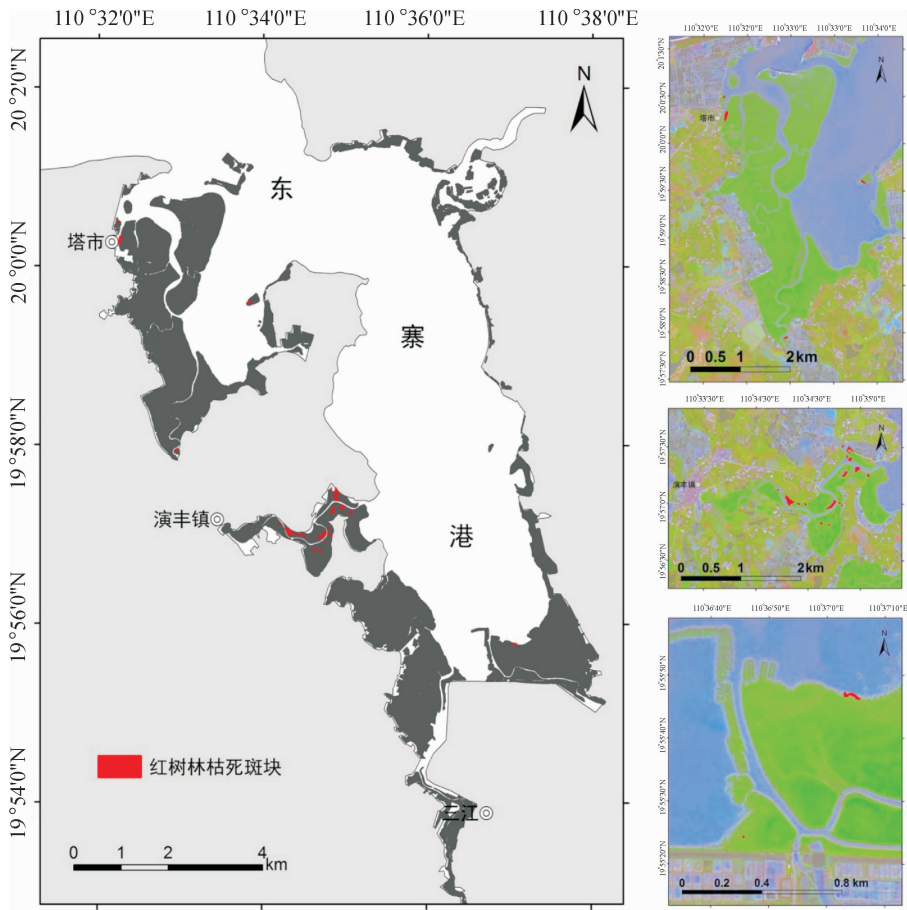


图3 2013年东寨港红树林枯死斑块分布

Fig.3 The distribution map of death patches of mangroves in Dongzhaigang Harbor in 2013

2.2.2 不同树种的退化特征 典型样方调查显示, (28.8%) > 尖瓣海莲(10.7%) > 海莲(10.4%) > 秋茄 > 红海榄;对于前沿型红树林群落,塔市片区白骨壤群落和三江片区秋茄的退化率都为15.0%. 分析表明,团水虱对红树林不同树种的蛀蚀具有选择性.

表3 各样地的群落退化特征¹⁾

Tab.3 Community degradation characteristics of sample plots

样地位置	树种	各退化等级的样方数						退化率/%
		健康	1级	2级	3级	4级	5级	
演丰东河沿线	海莲	28	24	34	9	1	0	10.4
	红海榄	1	2	0	0	0	0	0
	尖瓣海莲	10	12	3	1	2	0	10.7
	木榄	13	18	16	12	6	1	28.8
	秋茄	1	2	1	0	0	0	0
塔市	白骨壤	5	11	1	0	1	2	15.0
三江	秋茄	2	21	11	6	0	0	15.0
	总计	60	90	66	28	10	3	16.0

2.2.3 群落特征与退化特征的相关性 红树林群落特征在一定程度上反映了红树林的生长状况,是红树林群落退化的直观反映.红树林群落的退化特征可采用死亡率和退化率 2 个指标来表达.典型样方的 Spearman 相关性分析显示,样方的死亡率与种群密度和群落多样性指数(Shannon-Wiener 指数)呈

显著正相关,而与郁闭度、平均胸径及平均冠幅相关性不显著;样方的退化率则与郁闭度呈显著负相关,而与其他指标相关性不显著(表 4).以上结果表明,处于地带性演替后期的红树林群落更易遭受团水虱的蛀蚀而死亡,而郁闭度是群落退化程度的直观反映.

表 4 各样地的群落特征与退化特征相关性分析¹⁾

退化特征值	种群密度	郁闭度	Shannon-Wiener 指数	平均胸径	平均冠幅
死亡率	0.601 **	0.170	0.481 *	-0.271	-0.250
退化率	-0.315	-0.612 **	0.203	-0.045	0.114

1) “*”代表 0.05 水平显著性相关,“**”代表 0.01 水平显著, $n=20$ (Spearman 相关分析法).

2.3 红树林退化程度与环境因子的关系

海湾是人类活动最为密集的区域之一.随着人类对海湾开发进程的加快,人类活动对红树林湿地生态系统的扰动也日益加剧.红树植物的生长不仅受到滩涂高程、地形以及淹水时间等生境立地条件的影响,同时也受到人类活动产生的陆源污染物输入的影响.

2.3.1 立地条件与退化程度的关系 应用 GIS 软件的空间分析功能,采用 DEM 数据分别提取了典型样地所处地理网格的高程、坡度以及坡向等地形因子的数值.相关性分析结果表明,样地的死亡率与地表高程呈显著负相关关系,而与坡度及坡向相关关系不显著(表 5).在现场踏勘调查过程也发现,地形低洼处、小排污口以及潮沟两侧红树被团水虱蛀蚀的程度更为严重.由此可见,污染物传输通道的边缘以及地形低洼的沉积区更易受到团水虱的危害,这与范航清等^[16]的研究结论一致.

滩涂表面的相对高程是影响红树植物分布的关键生境因子,直接导致红树植物淹没深度和水淹时间的差异.演丰东河片区红树林群落以木榄、海莲等演替后期树种为优势种,而这些树种更适宜在较高潮滩的生境生长^[17].放养鸭群对表层土壤的松动、高位养殖塘排污口排放污水的冲刷等都会导致局部地形的降低,退潮时凹陷的地表形成积水,致使红树林水淹时间变长,长时间的淹水不仅超出了红树植物的忍耐程度,而且也给团水虱提供更多的滤食时间,导致团水虱数量的增长,从而更快更多地破坏红树植物的呼吸根及根茎^[7].随着根系不断被蛀蚀和腐烂,地表又会进一步发生沉降,最终导致红树林退化程度不断加重.此外,典型样地调查结果还表明,红树植物的枯亡与所处地理位置的坡度和坡向的关联不大.

表 5 各样地的地形因子与退化特征相关性分析¹⁾

退化特征值	高程	坡度	坡向
死亡率	-0.468 *	-0.350	0.046
退化率	0.035	-0.202	-0.011

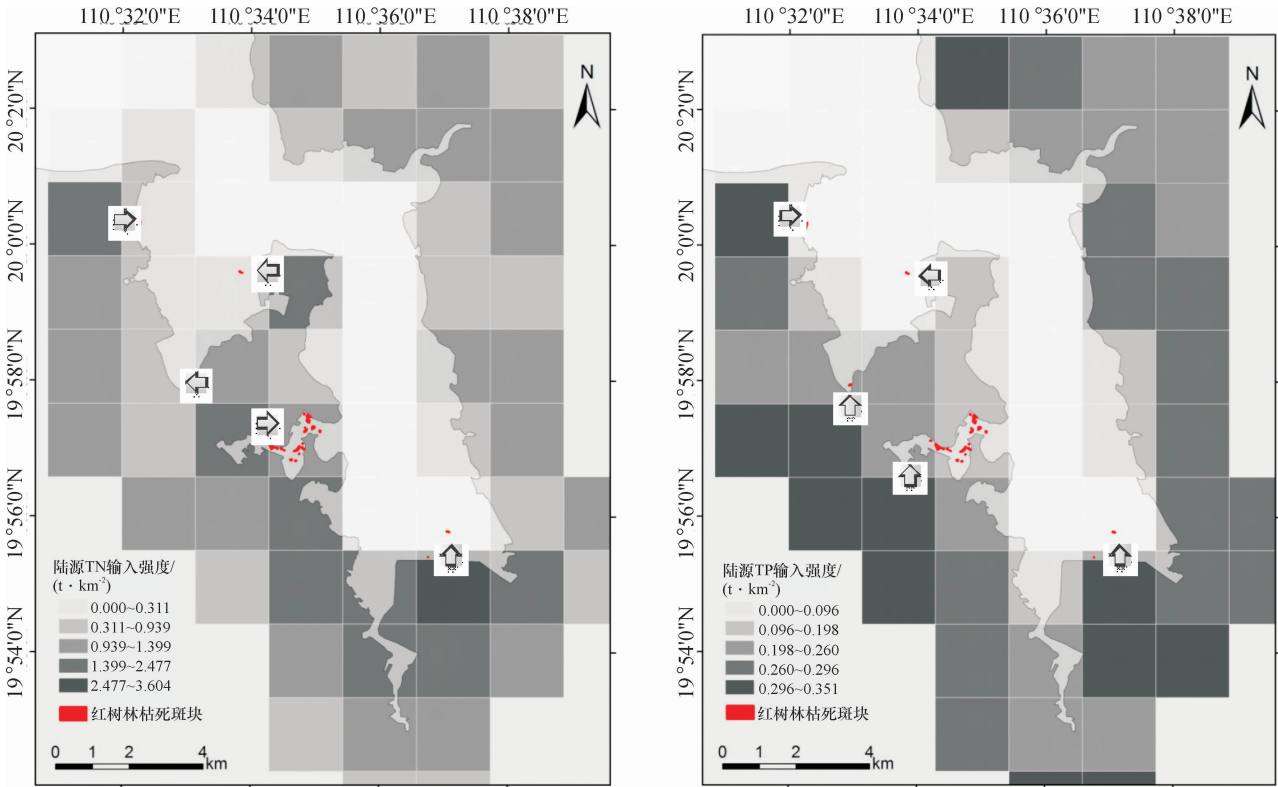
1) “*”代表 0.05 水平显著相关, $n=28$ (Spearman 相关分析法).

2.3.2 陆源污染物输入强度与退化程度的关系 陆源污染物的输入已经成为近岸海域污染的主要来源.其中,总 N、总 P 等陆源营养物质的大量输入是导致海水富营养化的主要原因,水体中总氮、总磷含量和浮游生物量也是影响光背团水虱 *Sphraeroma retrolaevis* 分布的主要水质因子^[9].对于东寨港地区,陆源营养物质一部分来源于海湾周边大面积的耕地、林地等产生的面源污染,而另一个主要来源是养殖塘换水和渗漏输出的污染物,并占到营养物质输出总量的四成以上.近年来东寨港周边养殖塘呈现快速增加的趋势,大量营养物质的输出正不断污染临近海域.水体的富营养化也进一步加剧了沿岸红树林的退化.

为分析陆源污染物的输入对红树林退化的影响,本文将陆源 TN、TP 输入强度图层与红树林枯死斑块图层进行叠加,可以直观表达陆源污染物的输入强度与红树林退化斑块之间的空间匹配关系.如图 4 所示,从空间位置关系上来看,红树林枯死斑块与陆源 TN、TP 输入强度高值区具有很好的对应关系.整体上来看,红树林枯死斑块所对应的陆源 TN 输入强度介于 $1.1 \sim 3.6 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 之间,高于此区域 TN 平均输入强度 $0.9 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$;而陆源 TP 输入强度介于 $0.24 \sim 0.35 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 之间,高于此区域 TN 平均输入强度 $0.2 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$.

图5为演丰东河流域陆源污染物输入强度与红树林枯死斑块的空间关系. 由图5可知,红树林枯死斑块主要分布于演丰东河中下游区域,与陆源TN、

TP输入强度高值区具有较好的一致性. 上述结果表明,周边陆源营养物质的输入强度是影响红树林退化群落分布的重要因素.



图中箭头代表污染物输出方向.

图4 东寨港陆源污染物输入强度与红树林枯死斑块的空间关系

Fig. 4 The spatial corresponding relationship between terrestrial pollutant loading and death patch in Dongzhaigang Harbor

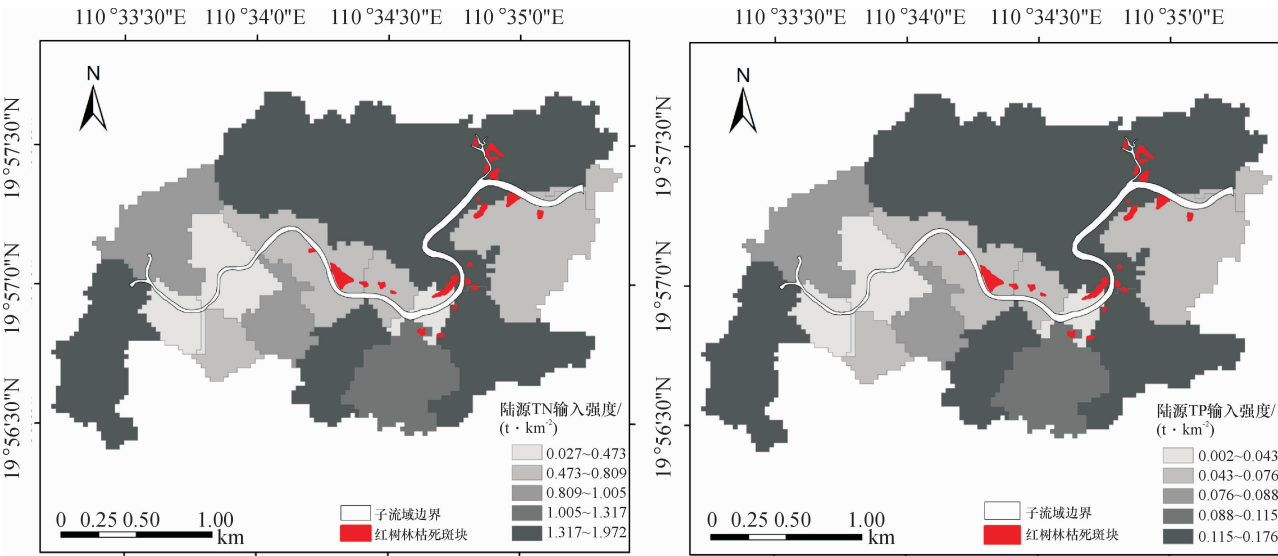


图5 演丰东河流域陆源污染物输入强度与红树林枯死斑块的空间关系

Fig. 5 The spatial corresponding relationship between terrestrial pollutant loading and death patch in the Yanfengdong River watershed

3 讨论

近海岸带的红树林生态系统具有极其重要的生

态和环境价值. 但大量研究表明气候变化、病虫害等自然因素以及无序的海岸带开发已经造成红树林资源的大面积缩减. 从宏观大尺度的视角,定量分析典

型红树林群落的急速退化特征及其影响因素,可为我国红树林资源的保护及生态恢复提供科学依据.海南东寨港是我国最典型、最原始的天然红树林分布区,成为红树林生态系统保护和恢复研究的理想场所.通过多期遥感影像的判读分析显示,近30年来,东寨港红树林面积经历了先增长后减小的变化趋势,红树林斑块亦呈现破碎化趋势.人类活动对海岸带扰动强度的增加是导致红树林斑块面积缩减及景观破碎化最为直接的原因.自1980年东寨港红树林自然保护区成立以来,保护区管理局采取了多项切实可行的红树林保护和恢复措施,对保护当地红树林生态系统的多样性、完整性起到了至关重要的作用.

近年来,东寨港红树林区出现一定范围的海洋污损动物——团水虱危害,已造成了近4 hm²红树林枯死现象,引起了政府和社会的高度关注^[7].从空间分布上来看,红树林枯死群落主要分布于地形低洼积水处或污染物传输通道两侧;河流型红树林生态系统受到团水虱的危害最为严重,同时近海湾的前沿地段也出现一定程度的危害现象.实地样方调查数据显示,团水虱危害呈现明显的“种群选择性”,即木榄、尖瓣海莲等处于地带性演替后期的红树林群落更易遭受团水虱的蛀蚀而死亡.结合GIS空间对应关系分析发现,沿海陆源氮磷营养物质的输入强度是影响红树林退化群落分布的重要因素.东寨港红树林区周边近1 986.9 hm²的养殖塘是陆源污染物的主要来源,每年向近海排放大量氮磷营养物质以及消毒剂等污染物,对红树林生态系统的健康构成严重威胁.因此,位于地形低洼的积水区、潮沟两侧以及污水排放口等特殊地理位置的红树林群落应该是今后红树林退化的重点防控区域.

参考文献:

- [1] ALONGI D. Present state and future of the World's mangrove forests[J]. *Envir Conserv*, 2002, 29 (3): 331-349.
- [2] RAKOTOMAVO A, FROMARD F. Dynamics of mangrove forests in the Mangoky River delta, Madagascar, under the influence of natural and human factors[J]. *Forest Ecol Management*, 2010, 259 (6): 1161-1169.
- [3] 伍淑婕,梁士楚. 人类活动对红树林生态系统服务功能的影响[J]. *海洋环境科学*, 2008, 27 (5): 537-542.
- [4] 赵晓涛,杨威,周丹,等. 影响我国河口地区可持续发展的五大问题[J]. *海洋开发与管理*, 2008, 25 (3): 91-93.
- [5] REDDI E U B, RAMAN A V, SATYANARAYANA B, et al. Degradation of mangrove ecosystem due to hinterland farm practices: A case for Coringa, East Coast of India [J]. *南京林业大学学报:自然科学版*, 2003, 27 (2): 1-6.
- [6] 廖宝文,李玫,陈玉军,等. 海南东寨港红树林生态系统研究[M]. 青岛:中国海洋大学出版社, 2007: 2-31.
- [7] 徐蒂,廖宝文,朱宁华,等. 海南东寨港红树林退化原因初探[J]. *生态科学*, 2014, 33 (2): 294-300.
- [8] BROOK R A. Discovery of *Sphaeroma terebrans*, a wood-boring isopod, in the red mangrove, *Rhizophora mangle*, habitat of Northern Florida Bay[J]. *AMBIO: J Human Environ*, 2004, 33 (3): 171-173.
- [9] 邱勇,李俊,黄勃,等. 影响东寨港红树林中光背团水虱分布的生态因子研究[J]. *海洋科学*, 2013, 37 (4): 21-25.
- [10] 王胤,左平,黄仲琪,等. 海南东寨港红树林湿地面积变化及其驱动力分析[J]. *四川环境*, 2006, 25 (3): 44-49.
- [11] LIU K, LI X, SHI X, et al. Monitoring mangrove forest changes using remote sensing and GIS data with decision-tree learning[J]. *Wetlands*, 2008, 28 (2): 336-346.
- [12] 吴哲,陈歆,刘贝贝,等. 基于InVEST模型的海南岛氮磷营养物质负荷的风险评估[J]. *热带作物学报*, 2013, 34 (9): 1791-1797.
- [13] 李廷友,林振山. 海水围塘混合养殖生态系统氮磷平衡的研究[J]. *井冈山大学学报:自然科学版*, 2010, 31 (2): 32-35.
- [14] 王兵,郑秋红,郭浩. 基于Shannon - Wiener指数的中国森林物种多样性保育价值评估方法[J]. *林业科学研究*, 2008, 21 (2): 268-274.
- [15] 薛春汀. 人类活动对密克罗尼西亚联邦库赛埃岛红树林海岸的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 2002, (2): 17-23.
- [16] 范航清,刘文爱,钟才荣,等. 中国红树林蛀木团水虱危害分析研究[J]. *广西科学*, 2014, 21 (2): 140-152.
- [17] 廖宝文,李玫,陈玉军,等. 中国红树林恢复与重建技术[M]. 北京:科学出版社, 2010: 120-122.

【责任编辑 李晓卉】