

1980—2015 年间泰国红树林资源变化的遥感监测与分析

吴培强, 张 杰, 马 毅, 任广波

(国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要:基于 1980—2015 年间 5 期 Landsat MSS, TM, ETM+ 和 OLI 影像, 采用卫星遥感调查与现场调查相结合的方法, 开展泰国红树林信息提取, 并分析了 35 a 来泰国红树林时空分布状况和动态变化。结果表明: 35 a 来, 泰国红树林面积呈先减少后增加的趋势, 但总体呈减少的趋势; 1980—1990 年间, 红树林面积由 1980 年的 2 694.3 km² 减少到 1990 年的 2 279.83 km², 减少速度为 41.45 km²/a, 而 1990 年后却持续增加, 增加了 118.47 km²; 泰国红树林主要变迁区域分布于泰国湾沿岸, 尤以尖竹汶府变化最为剧烈, 安达曼海沿岸变化较小; 围海养殖是红树林减少的主要原因, 35 a 间, 在泰国累计被破坏的 424.26 km² 红树林中, 约 376.39 km² 的红树林被围垦为养虾池; 红树林自然保护区的建立、科学合理地开展人工栽种是红树林面积增加的主要途径, 目前约有 125.27 km² 的沿海滩涂和废弃养殖池被人工栽种红树林。

关键词:泰国; 红树林; 遥感监测; 动态变化

中图分类号: P748; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2018)03-0412-11

doi: 10.3969/j.issn.1671-6647.2018.03.008

红树林是生长在热带和亚热带海岸潮间带、受到海水周期性浸淹的木本植物群落, 是全球四大湿地生态系统中最具特色的一个湿地生态系统^[1]。红树林兼具陆地和海洋双重生态特性, 具有极高的自然与社会价值, 不仅在御风消浪、护堤护岸、净化水质和维持生物多样性等方面发挥着重要作用, 还是鱼、虾、蟹和海鸟等海洋动物栖息、生长和繁殖的场所。特别是 2004 年印尼海啸发生后, 红树林在防灾减灾方面受到了极大的关注。

红树林植物群落结构简单, 生境模式单一, 是一个非常脆弱和敏感的生态系统。自 20 世纪 50 年代以来, 在自然因素和人为干扰的双重驱动下, 全球约 35% 的红树林受到破坏而消失, 其中 1961—1985 年间, 由于围海造田、围海养殖、改造盐场、城镇建设、乱砍滥伐等人类不合理的开发活动, 泰国红树林面积减少了 55%^[2]。红树林资源的破坏, 会直接导致渔业减产、水质污染、海岸侵蚀和生物多样性降低等效应, 因此需及时掌握红树林资源状况, 以保证海岸带资源更有效、更合理的开发和管理。

由于红树林生长的特殊地理位置, 常规调查难以对其边界进行准确定位, 且工作量大、效率低。而遥感技术具有探测范围大、时效性高、受地面条件限制少、手段多等优点^[3], 近年来已被广泛应用于红树林湿地调查和变化监测中。中低分辨率遥感影像可以区分出红树林和非红树林区域, 其中, Landsat 卫星影像具有跨度时间长、分辨率适中、获取便捷等特点, 是红树林资源调查和动态监测的首选^[4-12]。随着 SPOT, Hyperion, IKONOS, QuickBird 和 WorldView 等卫星的上天, 其高空间分辨率和高光谱分辨率特性能够提供更多的纹理特征和光谱特征, 可更加精确地识别红树林, 并为进一步对红树林种间分类提供便利条件, 但

收稿日期: 2017-04-05

资助项目: 高分辨率对地观测系统重大专项(民用部分)应用示范系统项目——高分海洋环境遥感信息处理与业务应用示范系统一期(41-Y30B12-9001-14/16)

作者简介: 吴培强(1984-), 男, 山东潍坊人, 研究实习员, 硕士, 主要从事海岛海岸带遥感应用方面研究。E-mail: wu1416@163.com

(王 燕 编辑)

由于其覆盖范围小、周期长、性价比低等缺点不利于开展长期、区域性的红树林变迁监测^[13-17]。为此,本文基于1980年、1990年、2000年、2010年和2015年的Landsat卫星遥感影像,开展了35 a来泰国红树林资源分布状况和时空动态变化监测并分析其变化原因。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

泰国(97°30′~105°30′E,5°30′~21°00′N)位于亚洲中南半岛的中心,与柬埔寨、老挝、缅甸、马来西亚接壤,东南邻太平洋最西端的泰国湾,西南濒印度洋的安达曼海,国土面积513 115 km²,海岸线长约2 614 km。泰国大部分地区属热带季风气候,温暖而潮湿,沿海省府皆有红树林分布,尤其是泰国中部和南部省府,其海岸线曲折,且沿岸滩涂类型多以粉砂淤泥质为主,十分适宜红树林的生长。本文的研究区域为泰国达叻府、罗勇府等23个沿海省府(图1)。

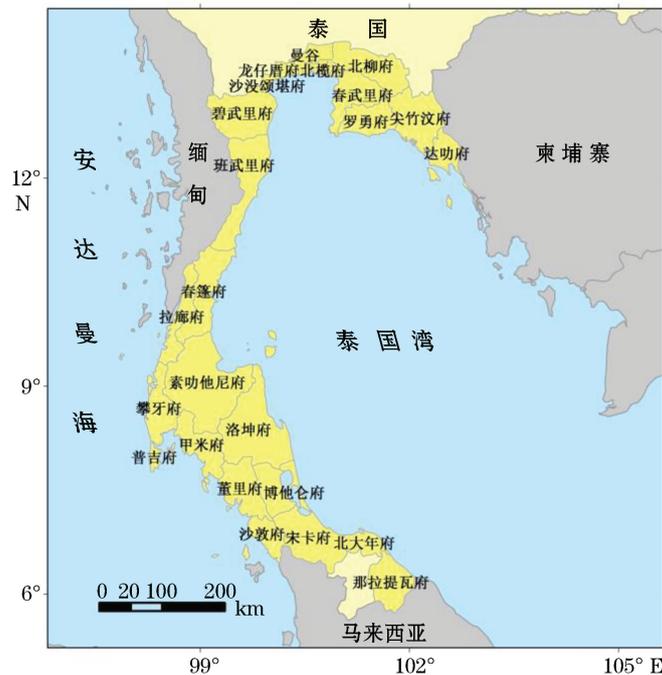


图1 研究区范围

Fig.1 Location of the study area

1.2 数据源及预处理

选用1980—2015年间5期Landsat遥感影像为主要数据源。首先利用ERDAS软件对遥感影像进行波段组合,形成可视化的影像;然后,为保证红树林提取位置的时间连续性,以2015年Landsat-8 OLI遥感影像为基准,将1980年、1990年、2000年和2010年遥感影像分别与之进行地理配准,配准误差控制在1个像元以内。项目组于2012-06和2013-06分别在曼谷湾海岸和安达曼海海岸开展了红树林现场调查,并在沿岸随机选定了38个调查站位(2 000 m×2 000 m),获取了红树林解译照片、分布范围、树叶光谱、树高、胸径、密度等(图2)。

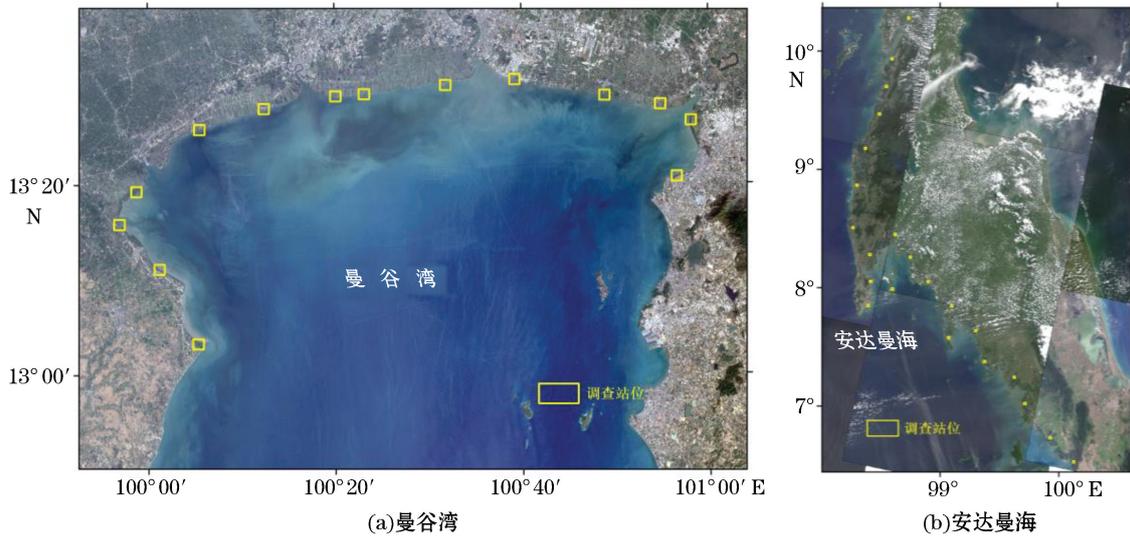


图2 现场调查站位
Fig.2 Field work station

1.3 数据处理及精度评价

基于人机交互解译的方法开展了红树林信息提取。对比多期遥感影像和查阅历史资料^[18],发现安达曼海红树林受人为和自然活动影响较弱,其分布位置、面积变动较小,因此,我们选择了此区域开展红树林自动提取实验。根据2013年开展的安达曼海红树林现场踏勘经验,获取本文遥感影像上的红树林图像分布特征。基于ENVI中监督分类方法中的支持向量机(Support Vector Machine),从2015年卫星遥感影像中选取水体、红树林、耕地、林地、建筑用地五种地物类型样本,开展图像分类,得到红树林分类结果。基于现场踏勘的38个区域内获取的红树林范围,对红树林遥感解译结果进行比对验证,总体分类精度约为90.6%。为进一步提高其精度,参考现场踏勘数据和Google地图,手动增加、减少漏分多分的红树林区域,最终得到更精确的红树林分布范围。为保证信息提取的准确性和连续性,基于2015年提取结果,开展1980年、1990年、2000年和2010年红树林的修边提取,获取了其余4期的红树林信息。对比Thampanya等^[18]研究发现,本文提取结果中安达曼海一侧省府与其结果基本一致,而泰国湾一侧仅宋卡府、春篷府提取结果存在差异,可能由影像时相、“异物同谱”、人类开发活动影响导致。另外,现场调查发现泰国红树林与国内红树林树木高度有较大差异,泰国红树林多为乔木,冠层高度多在10 m以上,且泰国湾一侧属于混合潮汐,潮高范围为0.3~1.1 m,安达曼海一侧为半混合潮汐,潮高范围为1.1~3.6 m,因此,本文开展红树林信息提取时,没有考虑潮汐影响。

2 泰国红树林分布状况

基于遥感影像,对研究区开展红树林信息提取,得到了各个时期的红树林分布范围和面积,结果见图3和表1。从5期提取结果可知:泰国沿海各府均有红树林分布,为更好地开展分析,将泰国红树林按地域分为泰国湾一侧和安达曼海一侧。由表1可知,安达曼海红树林面积远超过泰国湾;安达曼海红树林主要分布于攀牙府、甲米府、沙敦府、董里府和拉廊府沿海海岸区域,这些区域岸线曲折,海湾众多,入海河流分布密集(图3),河口泥沙堆积而成的淤泥质潮滩发育良好;泰国湾沿岸分布相对较为零散(图3),主要分布于达叻府至尖竹汶府、曼谷湾东西两侧、春篷府、苏叻他尼府、洛坤府和北大年府沿岸。

表 1 泰国红树林面积(km²)统计表
Table 1 Area statistics of the mangrove forests in Thailand(km²)

研究区域	1980 年	1990 年	2000 年	2010 年	2015 年
达叻府	94.36	81.36	86.91	90.59	93.62
尖竹汶府	216.80	68.72	96.33	110.52	140.98
罗勇府	11.36	5.98	8.15	8.54	8.83
春武里府	8.83	2.96	4.87	6.68	5.66
北柳府	7.04	4.22	3.96	3.51	3.04
北榄府	2.20	3.37	7.03	8.41	7.41
曼谷	0.76	0.33	1.04	0.64	0.63
龙仔厝府	6.93	1.27	3.70	7.39	5.86
沙没颂堪府	81.56	28.75	27.38	23.81	23.09
碧武里府	41.13	24.15	30.95	21.45	17.84
班武里府	2.85	1.75	1.85	3.26	3.26
春蓬府	80.18	66.12	63.80	69.32	70.81
素叻他尼府	86.72	55.43	41.14	65.09	65.64
洛坤府	161.69	105.31	102.59	113.82	118.78
宋卡府	82.72	29.48	33.35	35.57	32.36
北大年府	33.66	31.55	31.81	32.90	33.07
那拉提瓦府	0.32	0.19	0.30	0.62	0.67
小计	919.11	510.94	545.16	602.12	631.55
沙敦府	349.10	346.01	347.27	348.04	347.88
董里府	328.44	328.58	324.46	326.36	323.48
甲米府	349.51	350.12	349.97	349.95	349.95
攀牙府	452.84	451.91	452.57	452.22	452.22
普吉府	22.10	21.07	20.84	20.84	20.84
拉廊府	273.20	271.20	270.73	272.75	272.38
小计	1 775.19	1 768.89	1 765.84	1 770.16	1 766.75
总计	2 694.30	2 279.83	2 311.00	2 372.28	2 398.30

2.1 泰国湾红树林分布状况

1980—2015年间,泰国湾红树林主要分布于沿海海湾和潟湖内,但因受社会经济发展的影响,其分布面积呈现不同程度的变化。2015年,泰国湾一侧红树林总面积为631.55 km²,约占全国总面积的26.33%。其中以尖竹汶府面积最大,为140.98 km²,占全国总面积的5.88%,主要分布于卡隆县、林信县和他迈县沿岸潟湖内;洛坤府次之,为118.78 km²,约占全国的4.95%,主要分布于芭囊河口区域;达叻府和春蓬府红树林面积分列第三和第四位,分别为93.62和70.81 km²。红树林面积大于10 km²的省府还有素叻他尼府(2.74%)、北大年府(1.38%)、宋卡府(1.35%)、沙没颂堪府(0.96%)和碧武里府(0.74%)(图3)。

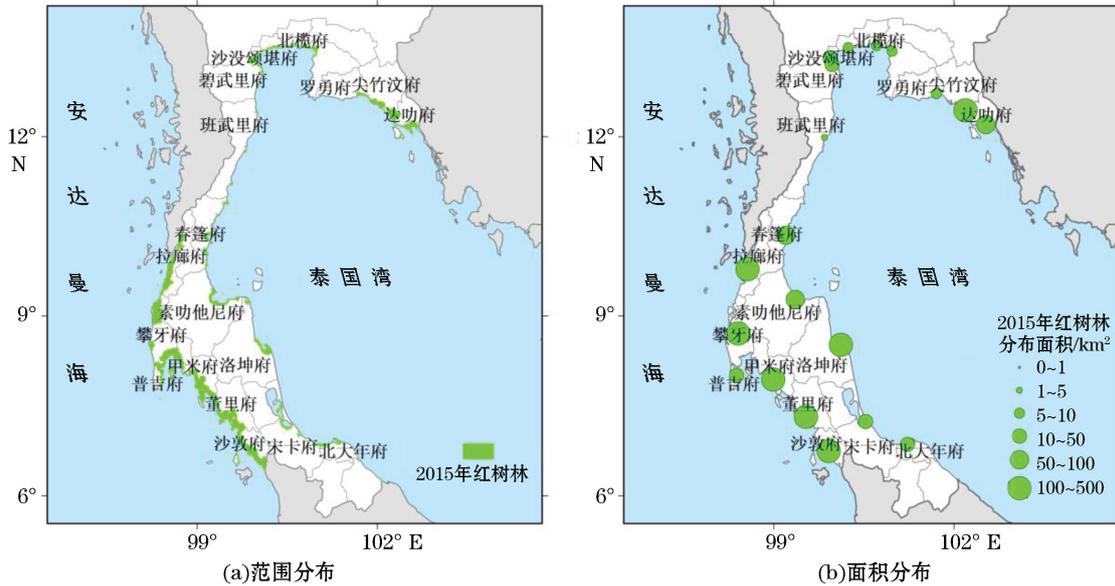


图3 2015年泰国红树林分布图

Fig.3 Distribution of the mangroves in Thailand in 2015

2.2 安达曼海红树林分布状况

1980—2015年间,安达曼海红树林保护较好,基本无变化。由表1可知,2015年,安达曼海一侧红树林总面积为1766.75 km²,约占泰国总面积的73.67%。其中,以攀牙府红树林面积分布最广,面积为452.22 km²,占全国总面积的18.86%,分布于府内的攀牙湾,竹古巴县和库拉武里县沿岸潟湖内;甲米府、沙敦府、董里府红树林面积相差不多,分别为349.95,347.88和323.48 km²,主要分布于沿海河口和海湾处;拉廊府红树林面积为272.38 km²,占全国总面积的11.36%;普吉府红树林面积最小,仅有20.84 km²,多分布于该岛东侧。

3 泰国红树林动态变化分析

基于5期红树林的分布状况,分析了红树林的变化情况。结果表明:近35 a来泰国红树林面积呈先减少后增加的趋势,1980年为2694.30 km²,2015年为2398.30 km²,减少了296.00 km²,年平均变化率为0.31%。其中,1980—1990年变化最大,红树林面积减少了414.47 km²,减少速度为41.45 km²/a;而1990—2015年却持续增加,红树林面积增加了118.47 km²,增加速度为4.74 km²/a(表1)。

3.1 泰国湾红树林时空变化分析

近35 a来,泰国湾红树林面积呈先减少后增加的趋势,总体来看,红树林面积由1980年的919.11 km²减少到2015年的631.55 km²,消失了31.29%。

1980—1990年间,泰国湾红树林减少了408.17 km²,占泰国红树林减少总面积的98.48%。其中以尖竹汶府变化最为剧烈,红树林面积由216.80 km²减少到68.72 km²,主要是经济利益驱使,大面积的红树林滩涂被围垦为养虾池。洛坤府次之,红树林面积减少了56.38 km²,变化率为34.87%,主要是红树林湿地被养虾池所取代(图4),但在芭囊河河口,河水携带的泥沙不断淤积,政府在滩涂上大面积开展人工栽种,红树林向海延伸,10 a最大前进距离约为708 m;宋卡府和沙没颂堪府由于围垦红树林滩涂为养殖池,面积分别减

少了 53.24 和 52.81 km²;另外,红树林面积减少 10 km² 以上还有素叻他尼府、碧武里府和春篷府。

1990 年后,红树林面积持续增加,由 510.94 km² 增加到 631.55 km²,年均增加 4.82 km²。25 a 间,以尖竹汶府红树林面积增加最多,为 72.26 km²,其中 2000—2010 年间增速要低于其他时期,主要是政府在沿海开展的退渔还林,部分养殖被人工栽种红树林。达叻府红树林增加了 12.26 km²,2015 年时已基本恢复到 1980 年水平,原先围垦的养殖池已大部分恢复为红树林。洛坤府和素叻他尼府红树林面积增加了 13.47 和 10.21 km²,原因主要为芭囊河和塔比河口口悬浮泥沙沉积,政府组织人员在淤泥中开展人工栽种,红树林不断向海延伸。曼谷湾西侧沙没颂堪府和碧武里府交界处,红树林滩涂围垦超过沿岸种植,分别减少了 6.31 和 5.66 km²。其余省府变化相对较小。

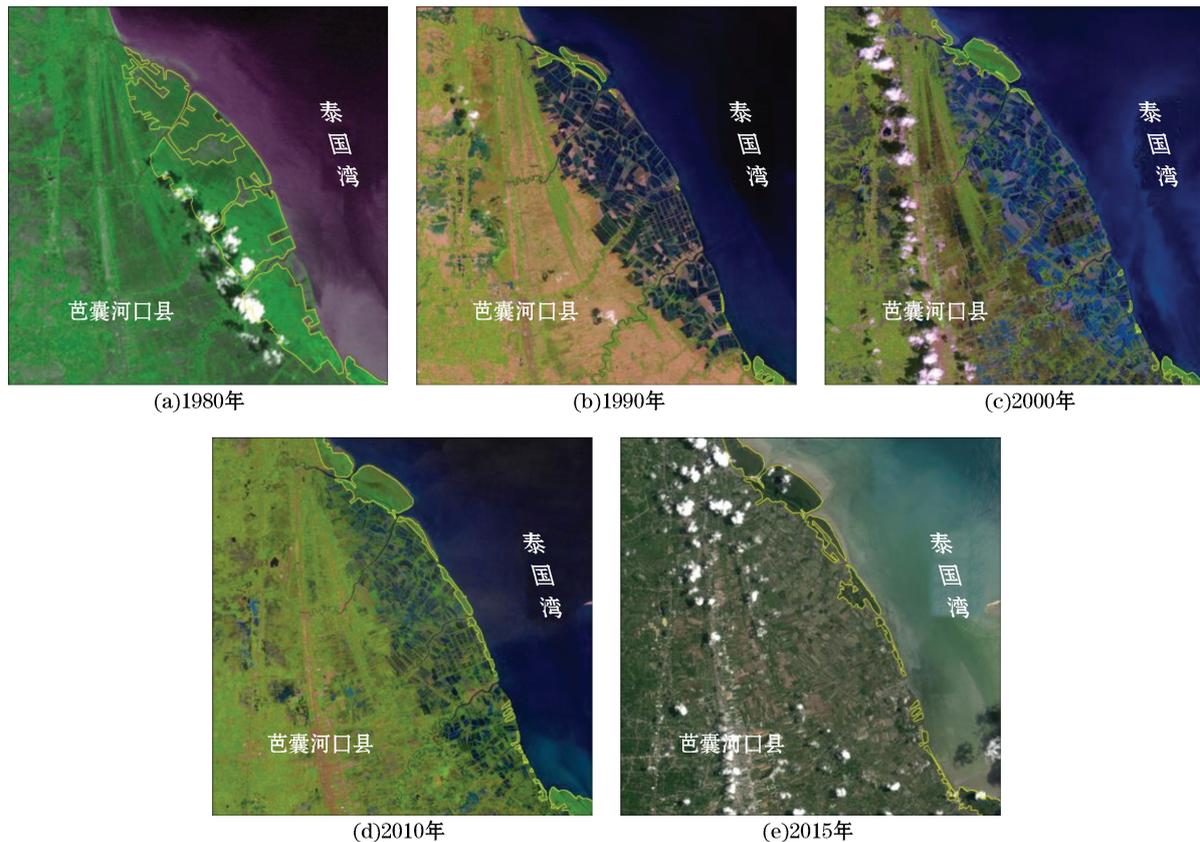


图 4 1980—2015 年洛坤府芭囊河口县部分红树林分布

Fig.4 Distribution of mangrove forests of Pak Phanang, Nakhon Si Thammarat from 1980 to 2015

3.2 安达曼海红树林时空变化分析

1980—2015 年间,安达曼海红树林面积变化较小,仅减少了 8.44 km²,变化率为 0.48%;主要由于安达曼海沿岸以山地、丘陵为主,多河流和海湾,这些区域又以淤泥质潮滩为主,形成大片的红树林湿地,现已被划为自然森林公园加以保护。其中,1980—1990 年间沙敦府红树林面积变化最大,减少了 3.09 km²,主要变迁区位于沙敦府的沙吞府城南部沿海区域,红树林滩涂被围垦为养殖池、农业用地。1990—2000 年间,董里府红树林面积变化最大,减少了 4.12 km²,主要由于东市经济发展,部分沿岸红树林滩涂被围垦为养殖池塘所致。

拉廊府红树林面积呈先减少后增加的趋势。1980 年,拉廊河入海口区域均有红树林覆盖,随着城市建设发展及城市的扩张,部分红树林在 1990 年已被围垦为建设用地,河口的水动力环境发生了巨大变化,泥沙

不断沉积,红树林在河口处扩散生长(图 5)。另外,甲米府、攀牙府和普吉府红树林面积变化较小,研究期间仅前 10 a 略微有所减少,至 2010 年,红树林面积基本不再发生变化。

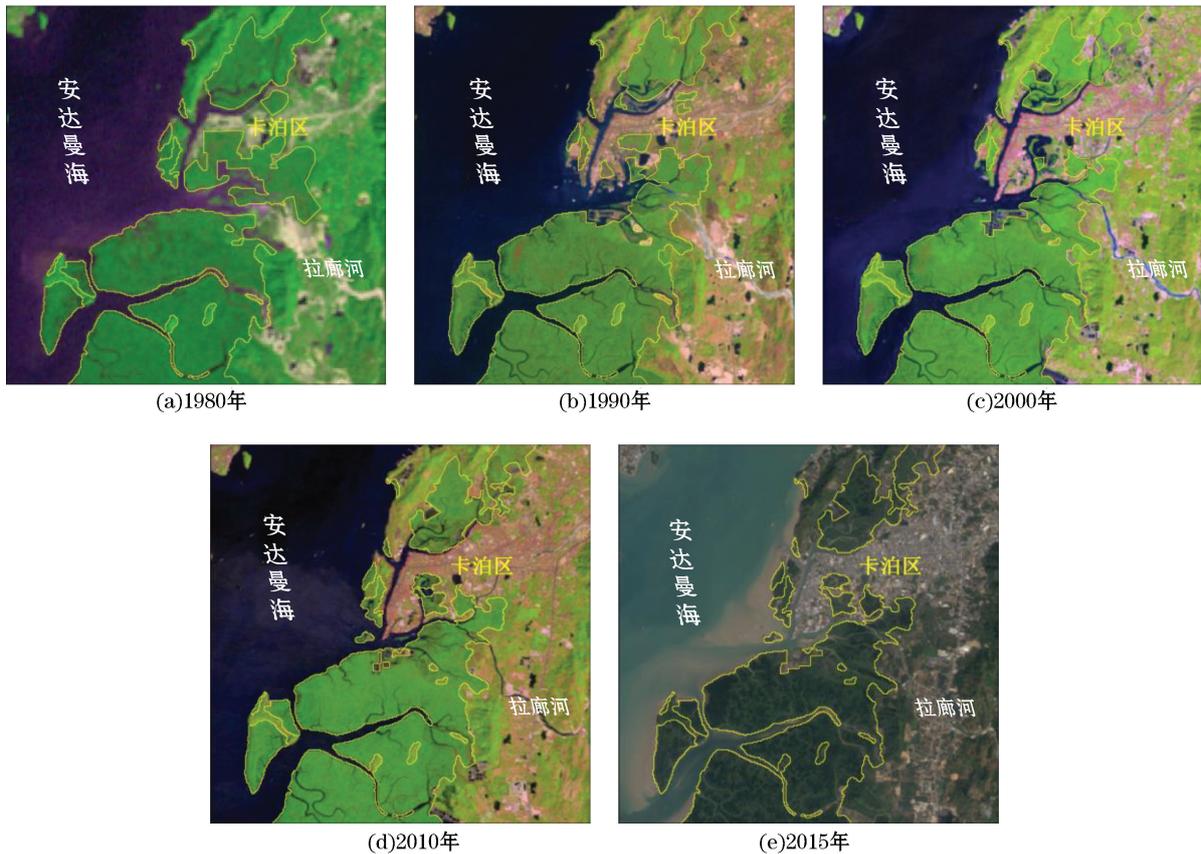


图 5 1980—2015 年拉廊卡泊区红树林分布

Fig.5 Distribution of mangrove forests of Amphoe Kapoe from 1980 to 2015

4 泰国红树林变迁原因分析

红树林的动态变化受自然和人为两方面因素影响。其中,自然因素包括海岸侵蚀、海平面上升、风暴潮、病虫害等因素,它们都会对红树林造成破坏和红树林自然扩张;人为因素包括乱砍滥伐、围垦养殖、围海造田、填海造陆等海岸带过度开发活动和滩涂人工栽种。

35 a 间泰国红树林共消失 296.00 km²,导致红树林面积减少的主要因素是人为因素中的围垦养殖。从表 2 可以看出,围垦养殖导致红树林减少的面积达 466.09 km²,主要分布于尖竹汶府沿海潟湖、曼谷湾北部沿海、洛坤府芭囊河口等;前 10 a 间红树林滩涂围垦养殖最为严重,之后逐年递减,主要是泰国经济的快速发展,带动了养殖业的迅猛增长,而红树林滩涂具有丰富的食物资源和成本低廉,成为开发养殖的首选,至 1991 年,泰国已成为世界上最大的老虎虾生产国^[19]。1980—1990 年,耕地开垦与种植导致红树林面积消失约 68.35 km²,主要位于尖竹汶府沿海潟湖、曼谷湾西侧、宋卡湖南部,但在随后的 25 a 间,由于人们开展退耕还林等生态修复,恢复了大部分因耕地种植业引起的红树林退化。其中,尖竹汶府最为典型,其海岸潟湖内的红树林破坏多以养殖和种植为主,1980 年,该区域有红树林覆盖面积为 165.88 km²,周边养殖仅有 9.02 km²,至 1990 年,经济的发展致使该区域养殖面积迅速增加为 91.88 km²,红树林面积下降为 54.18 km²,约有 75.46 和 36.24 km²的红树林分别被围垦为养殖和农业种植。随后 25 a 间,虽然养殖面积不断增加,但对

于红树林的保护力度却在增大,人工栽种修复面积不断扩大,到 2015 年时,已完成约 56.03 km² 红树林的生态修复(图 6)。另外,城镇建设破坏的红树林面积较小,仅分布在拉廊市和宋卡市等部分区域,约 21.75 km²,且逐年递减,其主要原因是滩涂地区建设开发相对于陆地区域来说难度大、投资高、回报少。

养虾池的粗放式开发和管理以及富含氮磷等营养物质的废水随意排放,对环境造成了很大的危害,严重威胁到周边红树林的生存发展和生态系统的稳定,甚至会引起红树林的大面积死亡,而红树林在宽度不足 300 m 时,无法有效的行使护岸固堤和防风御浪的功能^[20],因此部分红树林岸段受自然潮汐冲刷而出现侵蚀后退,35 a 来,共消失面积为 16.28 km²,主要分布于泰国湾北部,该区域背靠曼谷等泰国经济发达区,自 20 世纪 60 年代以来,沿海红树林湿地已基本被开发为养殖池,仅部分岸段还稍存有红树林且宽度较小,致使该区域养殖池堤不断被冲毁,海岸线后退,最大后退距离约为 860 m。

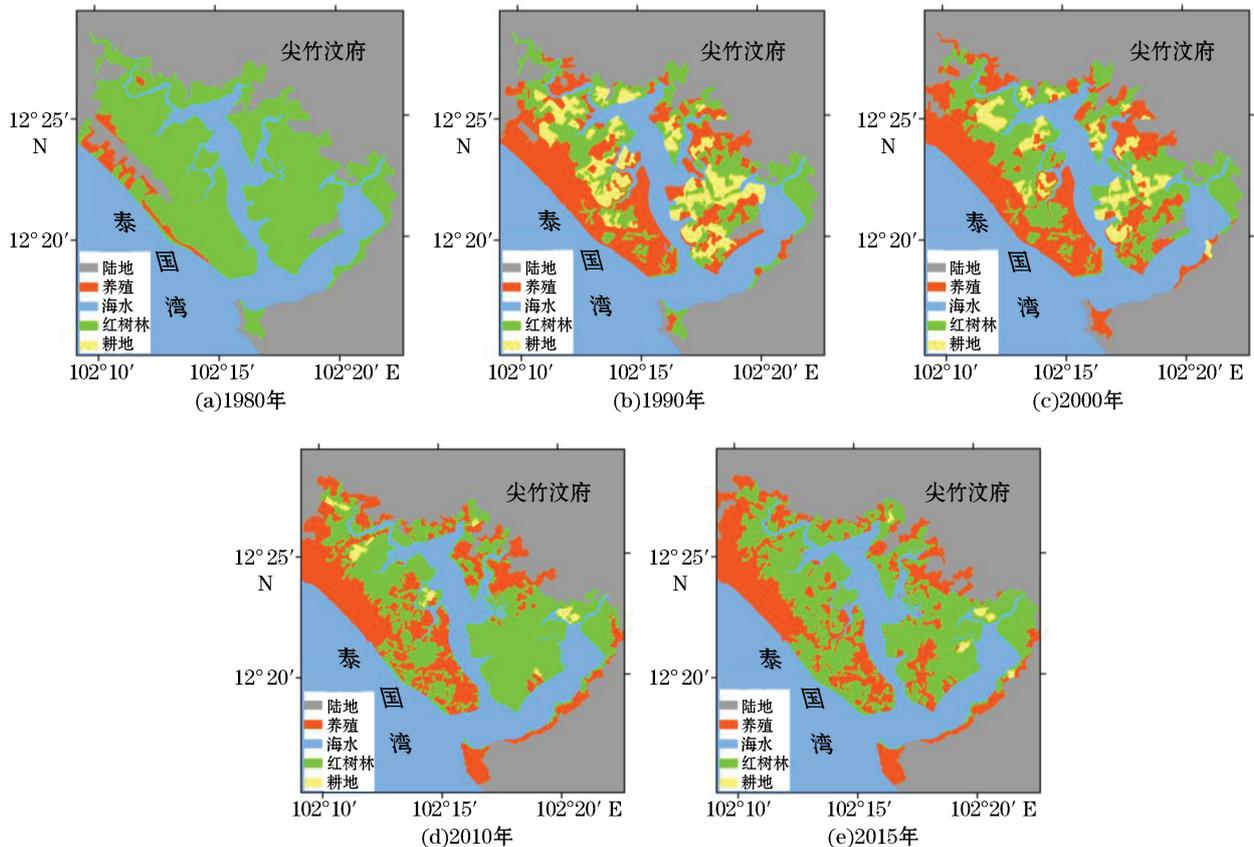


图 6 1980—2015 年尖竹汶府潟湖土地利用分布

Fig.6 Distribution of land use in the lagoon of Chanthaburi from 1980 to 2015

35 a 来,泰国红树林共增加 128.26 km²,其影响因素有退耕还林、退渔还林、沿海滩涂人工栽种等人为干预活动和红树林的自然扩散,增加主要分布于塔比河、芭囊河河口和曼谷湾西侧海湾等。其中,退渔还林修复红树林面积最大,约有 175.72 km² 的养殖池被恢复为红树林湿地,尤以 1990—2000 年间显著,之后逐年减少;另外退耕还林和沿海滩涂人工栽种扩散分别增加了 56.24 和 83.63 km²。究其原因为 80 年代随着泰国经济的快速发展,人们关注的重点侧重于红树林湿地的开发利用,而忽视了红树林的生态保护;1988 年,泰国南部发生水灾,红树林生态系统的严重破坏导致其防灾减灾能力的下降,甚至威胁到人民的生命和财产安全,为此,政府撤销了红树林湿地用于经济开发的一系列鼓励措施^[21],并建立统一的管理机构,将海岸 60 m 以内的红树林一律划为保护带,并在一些重点地段和游览区划定自然保护区和国家公园,科学合理开展人工栽种,保护和恢复红树林生态系统健康顺向演替。35 a 来,洛坤府芭囊河河口区域红树林增加最

多,该区域有大面积的被遗弃虾塘和未开发利用滩涂,自 1998 年以来,当地政府已在弃置的虾塘和沿海滩涂上开展了大面积的人工栽种,当地红树林生态系统已基本恢复健康^[22],红树林向海最大前进距离为 2 km。另外,随着泰国旅游业的兴盛和 2004 年印度尼西亚海啸的影响,泰国人们环保意识不断提升,民众自发组织红树林保护和栽种活动也日渐趋多。

表 2 泰国红树林变迁原因

Table 2 Analysis on the reasons of mangrove change in Thailand

t/年份	人为因素减少面积/km ²			自然因素减少面积/km ²		增加面积/km ²	
	养殖	耕地	建设用地	海岸侵蚀	退渔还林	退耕还林	人工栽种/自然
1980—1990	363.40	68.35	9.11	12.74	9.65	9.84	19.64
1990—2000	63.93	11.89	5.72	6.16	75.24	18.60	25.03
2000—2010	22.02	9.03	3.76	4.69	59.85	15.04	25.89
2010—2015	16.74	4.95	3.16	2.94	28.98	12.76	12.07
1980—2015	376.39	9.97	21.75	16.28	57.03	3.12	68.24

5 结 论

基于 Landsat 卫星数据,采用卫星遥感调查与现场调查相结合的方法,开展了 1980—2015 年泰国红树林的变迁监测及其原因分析,受影像中低分辨率所限,文中目视解译结果可能存在一定的偏差,但总体上,监测分析结果能真实地反映泰国红树林变化规模和趋势。主要研究结果:

1) 泰国红树林呈先减少后增加的趋势,但总体呈减少趋势。1980 年泰国红树林面积为 2 694.3 km², 2015 年却为 2 398.3 km², 减少了 296 km²。1980—1990 年红树林面积变化最大,共减少了 414.47 km², 减少速度为 41.45 km²/a; 而 1990—2015 年红树林面积却持续增加,共增加了 118.47 km², 增加速度为 4.74 km²/a。

2) 泰国湾红树林呈先减少后增加的趋势,但总体亦呈减少趋势,共减少了 287.56 km²。其中以尖竹汶府红树林面积变化最为剧烈,1980—1990 年红树林面积由 216.8 km² 减少到 68.72 km², 而 1990 年后红树林面积却增加了 72.26 km²; 研究期间,安达曼海红树林面积变化较小,仅减少了 8.44 km²。

3) 围海养殖是红树林面积减少的主要原因。35 a 间,在泰国累计被破坏的 424.26 km² 红树林中,约有 376.39 km² 的红树林被开垦为养殖池。

4) 红树林自然保护区和国家公园的建立、科学合理开展人工栽种,是保护和恢复红树林生态系统顺向演替的最有效的途径,2015 年已约有 125.27 km² 的沿海滩涂和废弃养殖池被人工栽种红树林。

红树林动态变化是由多种因素共同作用的结果,除本文分析的围垦养殖、围海造田、填海造陆等人为因素和海岸侵蚀自然因素外,尚有长期影响红树林生存的海平面上升,极短时间内造成严重破坏的风暴潮、病虫害、乱砍滥伐等因素,由于缺乏相关数据而没有在文中详细展开分析,对此将在今后的工作中开展进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] LIN P. Mangrove ecosystem in China[M]. Beijing: Science Press, 1997. 林鹏. 中国红树林生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] LIAO B W, ZHENG S F, CHEN Y J, et al. Advance in researches on rehabilitation technique of mangrove wetlands[J]. Ecologic science, 2005, 24(1): 61-65. 廖宝文, 郑松发, 陈玉军, 等. 红树林湿地恢复技术的研究进展[J]. 生态科学, 2005, 24(1): 61-65.
- [3] MEI A X, PENG W L, QIN Q M, et al. Introduction to remote sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. 梅安新, 彭望球, 秦其

- 明,等. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [4] WANG Y Q, BONYNGE G, NUGRANAD J, et al. Remote sensing of mangrove change along the Tanzania Coast[J]. *Marine Geodesy*, 2003, 26(1/2): 35-48.
- [5] GIRI C, PENGRA B, ZHU Z L, et al. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973—2000[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 73: 91-10.
- [6] GIRI S, MUKHOPADHYAY A, HAZRA S, et al. A study on abundance and distribution of mangrove species in Indian Sundarban using remote sensing technique[J]. *Journal of Coastal Conservation*, 2014, 18(4): 359-367.
- [7] CAMEY J, GILLESPIE T W, ROSOMOFF R. Assessing forest change in a priority west African mangrove ecosystem: 1986—2010[J]. *Geoforum*, 2014, 53: 126-135.
- [8] LI T H, ZHAO Z J, HAN P. Detection and analysis of mangrove changes with multi-temporal remotely sensed imagery in Shenzhen River estuary[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(5): 364-369. 李天宏, 赵智杰, 韩鹏. 深圳河河口红树林变化的多时相遥感分析[J]. *遥感学报*, 2002, 6(5): 364-369.
- [9] LI X, LIU K, WANG S G. Mangrove wetland changes in the Pearl River Estuary using remote sensing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(1): 26-34. 黎夏, 刘凯, 王树功. 珠江口红树林湿地演变的遥感分析[J]. *地理学报*, 2006, 61(1): 26-34.
- [10] HUANG W D, CHEN W H, DENG X M, et al. Distribution of mangrove in Fujian Province[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(12): 164-170. 黄文丹, 陈文惠, 邓祥民, 等. 福建省红树林分布时空变化与驱动因素分析[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(12): 164-170.
- [11] WU P Q, ZHANG J, MA Y, et al. Remote sensing monitoring and analysis of the changes of mangrove forests resources in China in the past 20 years[J]. *Advances in Marine Science*, 2013, 31(3): 406-414. 吴培强, 张杰, 马毅, 等. 近 20 a 来我国红树林资源变化遥感监测与分析[J]. *海洋科学进展*, 2013, 31(3): 406-414.
- [12] LI C G, DAI H B. Mechanism analysis on temporal dynamics of mangrove's spatial distribution in Guangxi, China: 1960—2010[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(18): 1-19. 李春干, 代华兵. 1960—2010 年广西红树林空间分布演变机制分析[J]. *生态学报*, 2015, 35(18): 1-19.
- [13] KOVACS J M, DE SANTJAGO F F, BASTIEN J, et al. An assessment of mangroves in Guinea, west Africa, using a field and remote sensing based approach[J]. *Wetlands*, 2010, 30(4): 773-782.
- [14] BEHARA S, KHAIRUL A M, INDRA F I, et al. Assessment of mangrove vegetation based on remote sensing and ground-truth measurements at Tumpat, Kelantan Delta, East Coast of Peninsular Malaysia[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32(6): 1635-1650.
- [15] TIAN X G, ZHANG J X, ZHANG Y H. Extration of mangrove information using object-oriented method[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2007, 27(2): 41-44. 田新光, 张继贤, 张永红. 面向对象的红树林信息提取[J]. *海洋测绘*, 2007, 27(2): 41-44.
- [16] SU X, ZHAO D Z, WANG X, et al. Remote sensing classification of mangrove based on SPOT5 image[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2012, 31(6): 128-134. 苏岫, 赵冬至, 王祥, 等. 基于 SPOT5 的红树林遥感分类[J]. *热带海洋学报*, 2012, 31(6): 128-134.
- [17] TANG H L, LIU K, ZHU Y H, et al. Mangrove community classification based on WorldView-2 image and SVM method[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2015, 54(4): 102-111. 唐焕丽, 刘凯, 朱远辉, 等. 基于 WorldView-2 数据和支持向量机的红树林群落分类研究[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2015, 54(4): 102-111.
- [18] THAMPANYA U, VERMAAT J E, SONSAKUL S, et al. Coastal erosion and mangrove progradation of southern Thailand[J]. *Estuarine and Shelf Science*, 2006, 68: 75-85.
- [19] VANDERGEEST P, FLAHERTY M, MILLER P. A political ecology of shrimp aquaculture in Thailand[J]. *Rural Sociology*, 1999, 64: 573-596.
- [20] WINTERWERP J C, BORST W G, DE VRIES M B. Pilot study on the erosion and rehabilitation of a mangrove mud coast[J]. *Journal of Coastal Research*, 2005, 21(2): 223-230.
- [21] SATHIRATHAI S. Economic valuation of mangroves and the roles of local communities in the conservation of natural resources: Case study of Surat Thani, South of Thailand[C]//Economy and environment program for Southeast Asia research report series, IDRC. Singapore: Regional Office for Southeast and East Asia, Economy and Environment Program for Southeast Asia, South Bridge, 1998.
- [22] KATO S, PANITCHAT S, BOONMING S, et al. Rehabilitation of abandoned shrimp ponds though mangrove planting at Nakhon Si Thammarat, Southern Thailand: Investigation of a food chain system at a newly developed mangrove ecosystem[J]. *Walailak Journal of Science & Technology*, 2008, 5(2): 137-149.

Remote Sensing Monitoring and Analysis of the Dynamics of Mangrove Resources in Thailand From 1980 to 2015

WU Pei-qiang, ZHANG Jie, MA Yi, REN Guang-bo
(The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: Spatio-temporal pattern and dynamics of mangroves in Thailand from 1980 to 2015 was extracted and analyzed based on field investigations and satellite images of Landsat MSS, TM, ETM+ and OLI acquired in 1980, 1990, 2000, 2010 and 2015, respectively. It's found that the mangrove in Thailand is generally decreasing despite of the increases since 1990. The area of mangroves decreased from 2 649.30 km² in 1980 to 2 279.83 km² in 1990, with the decreasing rate of 41.45 km²/a. After that, the area of mangroves experienced steady increase with the amount of 118.47 km². The most significant changes were found along the coast of Gulf of Thailand, especially in Chanthaburi; whereas only a few changes were found along the coast of Andaman Sea. The reclamation of sea was the main reason for the shrinking of mangrove areas. During the past 35 years, a total of 424.26 km² mangroves destroyed, among which 376.39 km² were reclaimed as aquaculture. The best way to increase mangrove area was to establish the nature reserve and national park with scientific and rational artificial planting, and about 125.27 km² of beach and abandoned ponds were planted with mangroves in the recent 35 years.

Key words: Thailand; mangroves; remote sensing monitoring; dynamics

Received: April 5, 2017