

2001—2016年福建省海岸带植被覆盖变化特征

乔文慧, 王强

(福建师范大学地理科学学院, 福建福州 350007)

摘要: [目的] 揭示福建省海岸带地表植被覆盖空间格局变化, 为开展基于主体功能区类型的资源环境监测与预警提供决策参考。[方法] 基于归一化植被指数(NDVI)像元二分模型, 选用2001, 2006, 2011, 2016年Landsat系列遥感数据, 评估研究区植被覆盖度以表征评价区域生态承载力变化。[结果] ①2001—2016年福建省海岸带低植被覆盖度面积总体下降, 较低和较高植被覆盖度变化较为平缓, 而高植被覆盖度呈现上升趋势; ②2001—2016年生态承载力状态改善的面积增加了10.78%, 基本稳定面积变化不大, 而退化面积下降了7.05%, 显著退化面积下降了3.48%。③2001—2016年不同类型主体功能区内植被覆盖波动下降, 并呈现以生态承载能力改善为主要变化特征。[结论] 2001—2016年福建省海岸带植被覆盖度和生态承载能力呈现总体上升态势, 海岸带整体生态环境不断改善。

关键词: 海岸带; 植被覆盖度; 像元二分模型; 主体功能区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)01-0236-07

中图分类号: TP79, X171.1

文献参数: 乔文慧, 王强. 2001—2016年福建省海岸带植被覆盖变化特征[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 236-242. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.034; Qiao Wenhui, Wang Qiang. Characteristics of vegetation coverage in coastal zone of Fujian Province from 2001 to 2016[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1):236-242.

Characteristics of Vegetation Coverage in Coastal Zone of Fujian Province from 2001 to 2016

Qiao Wenhui, Wang Qiang

(School of Geography Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: [Objective] The spatial pattern change of vegetation coverage in the coastal zone of Fujian Province was studied in order to provide a decision-making reference for resource environment monitoring and early warning based on the type of major functional zone. [Methods] Based on the NDVI index, the Landsat series remote sensing data of 2001, 2006, 2011, and 2016 were selected to evaluate the vegetation coverage of the study area to characterize the change in the ecological carrying capacity of that area. [Results] ① During 2001—2016, the area of low vegetation coverage was observed to decrease, and the variation in the lower and higher vegetation coverage was more moderate; whereas, the high vegetation coverage showed an upward trend. ② During 2001—2016, the area of the improved ecological carrying capacity increased by 10.78%, while the basic stable area underwent a minor change; further, the degraded area decreased by 7.05% and the significant degraded area decreased by 3.48%. ③ During 2001—2016, the vegetation coverage area of the major functional areas was observed to decrease, and the improvement in the ecological carrying capacity was the primary change. [Conclusion] The vegetation coverage and the ecological carrying capacity of the coastal zone in Fujian Province have generally increased, and the ecological environment of the coastal zone has been continuously improved from 2001 to 2016.

Keywords: coastal zone; vegetation coverage; pixel binary model; major functional area

收稿日期: 2019-08-18

修回日期: 2019-09-12

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“基于海岸带资源环境承载力监测预警的岸线功能格局演变与调控机理研究”(41671126)

第一作者: 乔文慧(1995—), 女(汉族), 山西省吕梁人, 硕士研究生, 研究方向为经济地理与区域发展。Email: wenhuiqiao_geo@126.com。

通讯作者: 王强(1982—), 男(汉族), 河北省成安县人, 博士, 副教授, 主要从事区域可持续发展与规划研究。Email: wangqiang_1102@126.com。

海岸带是海洋生态系统向陆地生态系统的过渡区域,是海陆生态系统重要的交错带^[1-4],呈现出景观类型多样、生态结构复杂、人类活动集聚的特征^[5],对区域生态环境功能维系、人口经济布局起到承载与支撑作用。海岸带显著的区位优势荟萃了陆海两类经济,生产力双向辐射,成为社会经济地域中的“黄金地带”,全球范围内仅占地表面积 18% 的海岸带栖息着 60% 的人口,有 2/3 的人口超过 160 万的大城市分布于这一地区^[6]。但海岸带耦合过程复杂多变,对气候和生态的感应极其敏感和脆弱^[4],伴随城市化、工业化进程的加快,海岸带资源开发利用的加剧,人类活动对海岸带自然环境的破坏日益加重,尤其是,海岸带陆域植被系统的破坏更加严重,对于沿海地带的植被覆盖度监测显得尤为必要。

植被是陆地生态系统的主体,对植被覆盖开展长时间序列监测、评价是国内外学者的研究焦点。国外相关研究的起步较早,以不同时间和空间尺度对植被覆盖进行研究:在半球^[7-10]或全球^[11-12]尺度、区域尺度^[13-14]下测算植被覆盖度的变化规律,并广泛关注海岸带植被变化^[15],对美国、墨西哥、东南亚、孟加拉湾等^[16-19]典型海岸地区进行定量研究,同时就植被与气候、降水等自然要素和人类活动的响应过程^[7,9-10,13]也进行了深入的研究。近年来国内学者对植被覆盖的监测研究也在不断深入,包括植被类型更替、强度变化及空间格局演替及驱动机制和发展趋势的探讨等,目前国内对于沿海地区植被覆盖研究集中在中国东部沿海^[20-22]、典型海湾区^[23-25]或省市尺度^[26-28]的沿海植被研究,而福建省海岸带地区植被覆盖的研究较为少见。

福建省海岸带陆海交错,地形地貌复杂,自然环境条件不稳定,加之人类活动愈演愈烈,导致其海岸带植被覆盖波动剧烈,同时福建省海岸带地区作为海西城市群和海上丝绸之路的发展核心,对其进行生态环境承载能力监测具有重要意义。监测植被覆盖变化是表征生态承载力的重要手段,因此本文在国家引导形成资源环境承载能力监测预警长效机制背景下,基于 Landsat 遥感影像数据,采用像元二分模型,监测了福建省 2001,2006,2011,2016 年植被覆盖状况,在此基础上揭示和分析福建省海岸带植被覆盖空间格局的演变以及不同类型主体功能区植被覆盖变化特征,以期对福建省资源环境监测预警和构建生态安全格局提供科学依据。

1 研究区概况

福建省陆域面积 121 400 km²,位于 23°31′—

28°18′N,115°50′—120°43′E 之间,植被种类多样,森林资源丰富,森林覆盖率达 65.95%,居全国第二。全省海域面积 136 300 km²,海岸线北起福鼎市沙埕虎头鼻,南至诏安县洋林铁炉岗,海岸线长度居全国第二位,海岸线曲折率居全国第一位^[29]。得益于曲折而漫长的海岸线,星罗棋布的岛屿,众多优良港湾分布于此,大小港湾计 125 个,海湾屏蔽性好,条件优良,有 7 个海湾可大规模开发建设 5 kt 级以上的深水泊位,其中多处可建设 20~30 kt 的超大型深水泊位。此外海洋渔业资源丰富,近海有海洋生物 3 312 种,其中鱼类 752 种,水深 200 m 以内的海洋渔场面积 121 500 km²,沿海浅海滩涂资源丰富,可利用养殖面积达 1 500 km²。具有旅游开发价值的岛屿众多,滨海文化渊源深厚,滨海旅游资源开发潜力巨大。海岸带和近海海域蕴藏的矿产资源已发现 60 多种,矿产地 300 多处,其中 20 多种具有工业利用价值。沿海风能资源丰富,潮汐能蕴藏量居全国首位。

海岸带的过渡地貌带特性使得海岸带的范围没有统一的界定标准。有关海岸带界定较早的定义始于 1919 年,此后不同学者和单位对海岸带均作有不同的认识^[30-32]。本文参考福建省海洋功能区划、福建省主体功能区规划等相关规划成果,综合考虑福建省海岸线漫长的特点、海岸带植被生境条件、数据的易得性,确定使用“向陆地延伸 10 km,向海延伸 15 km”作为研究范围的界定标准,重点聚焦海岸线向陆延伸一侧,对福建省海岸带植被覆盖变化率进行研究。研究区覆盖福建沿海宁德、福州、莆田、泉州、厦门、漳州 6 个地市,35 个沿海县域,面积约 1 142 868 km²,覆盖优化开发区 5 个,重点开发区 29 个,海岸带植被覆盖度及生态承载力状态统计包含金门县,而针对不同主体功能区类型的统计不包含金门县。

2 数据与方法

2.1 研究数据

研究数据包括福建省遥感影像数据、福建省行政区矢量数据、福建省海岸线矢量数据。其中遥感影像数据选取 2001,2006,2011 年 Landsat 5~30 m 分辨率遥感影像,2016 年 Landsat 8~30 m 分辨率遥感影像。

2.2 研究方法

2.2.1 植被指数选取 植被指数反映地表植被生长、覆盖、生物量情况和种类数量、分布特征,归一化值(NDVI)是常见的植被覆盖定量研究数据^[33]。一般常用于植被覆盖度遥感监测的植被指数主要有:NDVI, PVI, MVI, GEMI, SAVI, MSAVI, TSAVI

等^[34],其中 NDVI 优势突出而被广泛应用于植被覆盖度的动态监测^[28,35],因此本文使用归一化植被指数作为度量参数。

归一化植被指数(NDVI)是近红外波段 NIR 与可见光红波段 RED 数值之差与这两个波段数值之和的比值,即:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

2.2.2 植被覆盖度的遥感估模型 研究利用基于遥感的像元二分模型法评估典型生境植被覆盖度的变化趋势。计算公式如下:

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: F_c 为植被覆盖度;NDVI为影像中各像元的NDVI值;NDVI_{soil}为全裸土或无植被覆盖区域NDVI值;NDVI_{veg}为纯植被覆盖像元的NDVI值。

植被覆盖度分级时,当 $0 \leq F_c \leq 25\%$,为低植被覆盖度; $25\% < F_c \leq 50\%$,为较低植被覆盖度; $50\% < F_c \leq 75\%$,为较高植被覆盖度; $75\% < F_c \leq 100\%$,为高植被覆盖度。

像元二分模型评估过程中,研究者对于NDVI_{soil}和NDVI_{veg}两项参数的取值方法不尽相同。Qi等^[36]在估算桑河流域植被覆盖度的研究中,分别应用3种类型遥感数据计算NDVI,从多时相高分辨率数据中得到NDVI_{veg}参数,而NDVI_{soil}参数取自图像中理想的裸地的NDVI值。孙久虎等^[37]在利用像元二分模型估算北运河地区植被覆盖度的研究中,以图像中的最小NDVI值作为NDVI_{soil}参数,而最大NDVI值作为NDVI_{veg}参数。牛宝茹等^[38]采用像元二分模型估算植被覆盖度时,选用同时相、同地区的高分辨率影像的最大NDVI值作为中等分辨率TM图像的NDVI_{veg}参数。

理论上,NDVI_{soil}值较为稳定,数值接近于0,但对于不同土壤类型的裸露地表,NDVI_{soil}会在-0.1~0.2

范围内波动^[39]。同理,NDVI_{veg}值也会随着土地利用类型、植被物候期的变化而波动^[40]。在没有实测数据进行检验的情况下,通常取给定置信度的置信区间内最小值与最大值为NDVI_{soil}和NDVI_{veg}。取值时利用土地利用图和土壤图作为选取NDVI_{veg}和NDVI_{soil}参数的依据,可以提高准确度,使估算结果更接近现实。

本研究参考研究区土地利用状况,对应Google地图,同时结合以往经验,取合理的NDVI值累积频率置信度范围,将其NDVI值作为NDVI_{soil}和NDVI_{veg}参数值。

2.2.3 植被覆盖度变化评价模型 根据不同海域典型生境植被特点,利用植被覆盖变化率,表征评价区域生态承载能力的状态趋势,所采用的计算公式如下:

$$E_v = 1 - \frac{F_{cp}}{F_{\omega}} \quad (3)$$

式中: E_v 为植被覆盖变化率; F_{cp} 为评价现状年植被覆盖度; F_{ω} 为评价现状年5a前植被覆盖度。

植被覆盖度变化率分级时,当 $E_v \leq 0$,典型生境生态质量状况改善; $E_v < 10\%$,典型生境生态质量状况基本稳定; $10\% \leq E_v \leq 20\%$,典型生境生态质量状况退化; $E_v > 20\%$,典型生境生态质量状况显著退化。

3 结果与分析

3.1 区域植被覆盖空间格局演变

3.1.1 覆盖度空间演变过程 不同时间节点上福建省海岸带植被覆盖度呈现出不同的空间变化。2001年之后研究区内植被总面积快速增加,到2006年植被覆盖度总面积达到最高,此后植被覆盖总面积快速减少,2011,2016年植被覆盖总面积与2001年总面积持平,虽然植被覆盖度在总量上下降了,但植被覆盖度总体趋于稳定,统计结果见图1与表1所示。

表 1 不同覆盖度等级植被面积变化特征

年份	低覆盖度		较低覆盖度		较高覆盖度		高覆盖度	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
2001	4 859.79	38.16	2 005.36	15.75	1 435.57	11.28	4 433.20	34.81
2006	1 878.37	14.71	1 514.11	11.85	4 892.11	38.30	4 488.20	35.14
2011	3 128.39	24.57	1 898.62	14.91	2 884.16	22.65	4 822.69	37.87
2016	2 275.42	17.87	1 694.76	13.31	1 787.48	14.04	6 976.40	54.78

2001年福建省海岸带低植被覆盖面积4 859.79 km²,在不同等级植被覆盖度中低植被覆盖所占比例最高,达到38.16%;高植被覆盖面积4 433.20 km²,

所占比例次之。除闽北海岸带植被覆盖度较高外,其他地区植被覆盖度均偏低,海岸带总体植被覆盖度水平偏差;2006年低植被覆盖度比例下降到14.71%,

5 a内低植被覆盖度比例下降了 23.45%；较高植被覆盖度面积最大，达 4 892.11 km²，所占比例 38.30%，也呈下降趋势，较高植被覆盖和高植被覆盖比例占到总值的 73%以上，整体植被覆盖度水平好，且较 2001 年，较高植被覆盖度有较大的面积增加，变化显著；2011 年高植被覆盖度面积 4 822.69 km²，占植被覆

盖度的最大比例，但是较 2006 年，2011 年低植被覆盖度比例上升到 24.57%，且主要集中在厦门、泉州、莆田等海岸带地区；2016 年高植被覆盖度面积达 6 976.40 km²，所占比例为 54.78%，研究区内一半以上的面积为高植被覆盖度，整体植被覆盖状况较好。

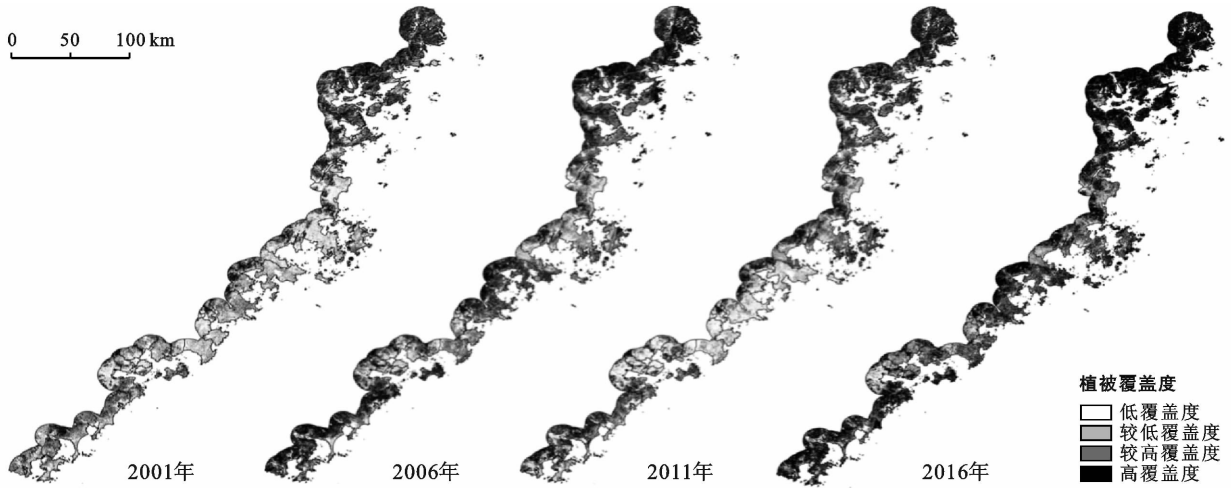


图 1 福建省海岸带植被覆盖度

3.1.2 覆盖度变化格局分析 基于 2001, 2006, 2011 和 2016 年的植被覆盖度结果，利用式(3)计算和分级福建省海岸带植被覆盖 3 个 5 a 的变化率以表征评价福建省海岸带生态承载力状态(图 2)，评价的状态面积统计结果见表 2。

从变化格局来看，2001—2016 年间生态改善面积比例变化从 61.57%~45.53%~72.35%，且生态改善比例都占最大比例，由此可见近 20 a 来，福建省海岸带生态承载力改善的变化趋势最大，整个海岸带

生态环境在不断提升趋好；2001—2016 年间基本稳定的面积比例变化为 5.38%~9.25%~5.13%，基本稳定的面积变化不大，起伏趋势较为稳定；2001—2016 年间退化面积变化经历了 11.36%~8.10%~4.31%，退化面积变化呈现明显下降趋势，占比逐年减少；2001—2016 年间显著退化的面积变化为 21.69%~37.12%~18.21%，退化变化率略显著于显著退化变化率，总体退化程度呈现下降趋势，整个海岸带植被退化、生态承载力萎缩现象呈现不断改善的状态。

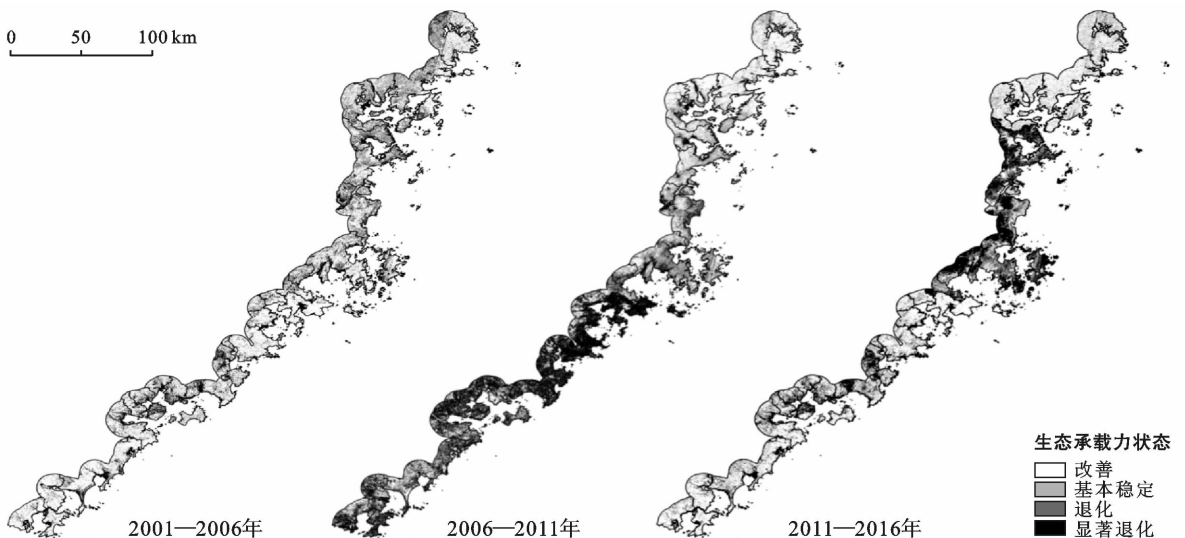


图 2 福建省海岸带生态承载力状态

表 2 福建省海岸带生态承载力状态面积变化特征

生态承载力 状态	2001—2006 年		2006—2011 年		2011—2016 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
改善	7 142.44	61.57	5 403.18	45.53	7 965.63	72.35
基本稳定	623.95	5.38	1 097.77	9.25	564.74	5.13
退化	1 317.75	11.36	961.77	8.10	474.25	4.31
显著退化	2 516.79	21.69	4 404.83	37.12	2 004.63	18.21

3.2 不同类型主体功能区植被覆盖变化特征

3.2.1 不同类型主体功能区植被覆盖分布特征 不同类型的主体功能区在时间序列上显示着差异的植被覆盖度(见表 3)。优化开发区以低植被覆盖和高植被覆盖或低植被覆盖和较高植被覆盖的面积最大,总体变化较为稳定,其中低植被覆盖度面积在 2001 年和 2011 年都为最大面积,总体呈现逐年降低趋势;较低植被覆盖度的面积平均在 20 km² 之间波动,变化幅度较小;较高植被覆盖度面积在 2006 年为最高,年际变化在 4 类覆盖度中最大,呈现先增加后减少的

波动;高植被覆盖度面积最大出现在 2016 年,最小出现在 2006 年,极差变化为 85 km²,其变化趋势与较高植被覆盖度变化趋势相反,但变化程度要小。重点开发区以较高植被覆盖和高植被覆盖面积为主,其中低植被覆盖度面积在 2001 年最大,低植被覆盖度、较低植被覆盖度都趋于下降,且低植被覆盖度下降幅度要远大于较低植被覆盖度;较高植被覆盖度在 2006 年达到最大面积,呈现波动下降,波动程度要小于低覆盖度;高植被覆盖度在 2016 年为最大面积,与其他覆盖度相比,高植被覆盖度呈现较大的增长趋势。

表 3 不同类型主体功能区植被覆盖度面积特征

km²

植 被 覆盖度	2001 年		2006 年		2011 年		2016 年	
	优化开发区	重点开发区	优化开发区	重点开发区	优化开发区	重点开发区	优化开发区	重点开发区
低等	227.94	4 580.97	140.52	1 711.06	187.24	2 907.75	130.51	2 123.25
较低等	50.58	1 931.23	79.34	1 422.17	52.25	1 806.16	84.41	1 592.16
较高等	42.54	1 374.34	180.17	4 648.85	82.56	2 740.02	99.49	1 670.67
高等	155.24	4 208.57	77.13	4 332.03	154.23	4 640.41	162.03	6 714.18

3.2.2 不同类型主体功能区生态承载变化格局特征

不同类型的主体功能区的生态承载变化格局也随时间变化表现出差异(见表 4)。优化开发区在 3 个 5 a 内均以改善和显著退化为主,并且改善面积波动增加,显著退化面积逐年下降,而基本稳定和退化面积变动较为稳定。重点开发区 3 个 5 a 内的变化与优化开发区相近,也表现出以改善和显著退化为主,改善面积一直占最大比例,并波动上升,而退化面积减幅最显著,从 2001—2016 年减少了 803.40 km²,到 2016 年该类型主体功能区区内退化和显著退化显著

减少,生态承载能力不断提升。

2001—2006 年优化开发区和重点开发区都以生态承载能力改善为主要特征,退化及显著退化分散分布在重点开发区内,2006—2011 年,宁德和福州重点开发区表现改善,而其余莆田、泉州、厦门、漳州重点开发区均为显著退化,同时福州优化开发区呈现改善,厦门和泉州优化开发区则为显著退化。2011—2016 年全部重点开发区都以改善面积比例最高,优化开发区福州地区表现出明显的显著退化,泉州、厦门市优化开发区则转变为改善。

表 4 不同类型主体功能区植被覆盖变化格局

km²

生态承载力 状态	2001—2006 年		2006—2011 年		2011—2016 年	
	优化开发区	重点开发区	优化开发区	重点开发区	优化开发区	重点开发区
改善	182.95	6 883.10	201.49	5 181.22	192.98	7 039.40
基本稳定	17.78	595.54	21.25	1 059.05	28.63	533.99
退化	40.13	1 247.78	19.14	918.47	27.85	444.38
显著退化	151.02	2 334.69	171.08	4 149.37	95.75	1 893.34

4 结论和讨论

4.1 结论

本研究基于 2001, 2006, 2011, 2016 年遥感影像数据, 运用像元二分模型监测福建省海岸带地区植被覆盖的时空变化及格局特征。

(1) 2001—2016 年福建省海岸带整体植被覆盖面积小幅减少, 总体趋于稳定, 但低植被覆盖度面积总体呈现下降趋势, 下降的变化比例达 20.29%, 较低和较高植被覆盖度变化较为平缓, 而高植被覆盖度呈现上升趋势, 增长比例达 19.98%。而 2001—2016 年生态承载力状态以改善为显著特征, 总体来看, 改善的面积增加了 10.78%, 基本稳定面积变化不大, 而退化面积下降了 7.05%, 显著退化面积下降了 3.48%。

(2) 不同类型主体功能区内植被覆盖变化有差异, 2001—2016 年优化开发区和重点开发区植被覆盖均呈现波动下降趋势, 但优化开发区的低植被覆盖度占比较高, 较高植被覆盖度年际变化最大, 重点开发区较高和高植被覆盖度占比较高, 且高植被覆盖度增长趋势明显。同时, 2001—2016 年优化开发区和重点开发区均以改善和显著退化面积变化最大, 其中优化开发区内改善面积增加, 显著退化面积逐年下降, 而重点开发区近 15 a 的退化面积显著减少, 到 2016 年退化和显著退化面积均呈现明显减少改善趋势, 总体上不同类型主体功能区生态承载状态均以改善为主要特征。

(3) 总体看来, 2001—2016 年福建省海岸带植被覆盖度和生态承载力状态呈现上升态势, 海岸带整体生态环境呈现改善提升状态。

4.2 讨论

海岸带地区人口、经济等要素高度活跃, 使得人类对植被的影响在速度和程度上均超过了自然因素, 短期内人类活动成为最主要的影响因素^[22]。

(1) 人类社会经济建设直接导致植被覆盖度的变化。2001—2016 年的近 15 a 间, 沿海各市人口均处于逐年增长态势, 显著的人口集聚推动城市化、工业化进程, 港口建设、临海工业区、围海养殖等人类活动愈加旺盛活跃, 沿海生态环境压力也进一步加大, 导致福建海岸带地区植被覆盖度总量降低, 其中宁德地区山地丘陵逼近海洋, 植被覆盖度高于南部 5 市的海岸带地区, 而闽三角海岸带由于区位优势明显, 导致产业集聚、城市规模快速扩张, 使得区域内生态环境压力升高, 在各年份均表现出植被覆盖较低水平, 特别是厦门、泉州市等地进一步推进港口建设, 大规模填海造陆, 胁迫海岸带生态环境, 导致植被覆盖度偏低。

(2) 政策导向对经济建设的指向性间接对植被覆盖度产生影响。2001 年福建省生态文明建设起步, 粗放的发展方式未完全改变, 在福州、厦门、泉州市等重点发展城市出现较大面积的低植被覆盖, 到 2006 年全面推进生态文明建设, 加强森林资源培育和海洋生态环境保护, 保护农田和耕地, 加强对海洋与岸线资源的保护, 因此植被覆盖度在 2006 年前后有了较大的提升。而随着“厦漳泉城市群”、“福州大都市区”等先后推行, 福州、厦门、泉州 3 市生产总值比例已超 60%, 退植扩建现象加剧, 在 2006—2011 年和 2011—2016 年出现以厦门和福州为核心的 2 个生态承载水平显著退化区。2016 年前后生态文明示范区的建设以及主体功能区、海岸带保护利用等规划的施行, 海岸带经济发展定位更加明确, 海岸带空间开发格局更加优化, 因此 2016 年海岸带植被覆盖也呈现以较高和高植被覆盖比例较高的良好生境状态。

(3) 福建省海岸带地区应围绕政策导向积极开展社会经济活动, 正确把握经济发展与生态环境的耦合关系, 加强资源环境的监测和预警, 构建面向山水林田湖共同体的生态安全格局。

【参 考 文 献】

- [1] Attrill M, Rundle S. Ecotone or ecocline: Ecological boundaries in estuaries [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 55(6): 929-936.
- [2] 鹿守本, 艾万铸. 海岸带综合管理: 体制和运行机制研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 2001. 4-7.
- [3] KEDDY P A. *Wetland Ecology: principles and conservation* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 8-35.
- [4] 谷东起, 赵晓涛, 夏东兴. 中国海岸湿地退化压力因素的综合分析 [J]. *海洋学报*, 2003, 25(1): 78-85.
- [5] 海岸空间开发遥感监测与评估 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [6] 吴克勤. 可持续发展与海岸带综合管理 [J]. *海洋信息*, 1999(3): 14.
- [7] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991 [J]. *Nature*, 1997, 386(6626): 698-702.
- [8] Shabanov N V, Zhou L, Knyazikhin Y, et al. Analysis of interannual changes in northern vegetation activity observed in AVHRR data from 1981 to 1994 [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(1): 115-130.
- [9] Kong Dongdong, Zhang Qiang, Singh V P, et al. Seasonal vegetation response to climate change in the Northern Hemisphere (1982—2013) [J]. *Global and Planetary Change*, 2017, 148: 1-8.

- [10] Bogaert J, Zhou L, Tucker C J, et al. Evidence for a persistent and extensive greening trend in Eurasia inferred from satellite vegetation index data[J]. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 2002, 107(D11):ACL 4-1-ACL 4-14.
- [11] Wu Donghai, Wu Hao, Zhao Xiang, et al. Evaluation of spatiotemporal variations of global fractional vegetation cover based on GIMMS NDVI data from 1982 to 2011[J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(5):4217-4239.
- [12] Liu Ya, Li Yan, Li Shuangcheng, et al. Spatial and temporal patterns of global NDVI trends: Correlations with climate and human factors[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(10):13233-13250.
- [13] Jeyaseelan A T, Roy P S, Young S S. Persistent changes in NDVI between 1982 and 2003 over India using AVHRR GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(21):4927-4946.
- [14] Zhang Yuan, Zhu Zaichun, Liu Zhuo, et al. Seasonal and interannual changes in vegetation activity of tropical forests in Southeast Asia[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, 224:1-10.
- [15] Klemas V. Remote sensing of coastal wetland biomass: An overview[J]. *Journal of Coastal Research*, 2013, 290:1016-1028.
- [16] Stanley K E, Murphy P G, Prince H H, et al. Long-term ecological consequences of anthropogenic disturbance on Saginaw Bay coastal wet meadow vegetation [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2005, 31: 147-157.
- [17] Anwar M S, Takewaka S. Analyses on phenological and morphological variations of mangrove forests along the southwest coast of Bangladesh [J]. *Journal of Coastal Conservation*, 2014, 18(4):339-357.
- [18] Bird M, Chua S, Fifield L K, et al. Evolution of the Sungei Buloh-Kranji mangrove coast, Singapore [J]. *Applied Geography*, 2004, 24(3):181-198.
- [19] Alatorre L C, Sánchez-Andrés R, Cirujano S, et al. Identification of mangrove areas by remote sensing: The ROC curve technique applied to the Northwestern Mexico coastal zone using landsat imagery[J]. *Remote Sensing*, 2011, 3(8):1568-1583.
- [20] 侯西勇, 应兰兰, 高猛, 等. 1998—2008 年中国东部沿海植被覆盖变化特征[J]. *地理科学*, 2010, 30(5):735-741.
- [21] 王晓利, 侯西勇. 1982—2014 年中国沿海地区归一化植被指数(NDVI)变化及其对极端气候的响应[J]. *地理研究*, 2019, 38(4):807-821.
- [22] 岳祝. 中国大陆沿海地区极端气温和降水时空趋势及其对植被生长的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2019.
- [23] 李亮. 杭州湾沿岸植被覆盖度遥感监测及变化研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2015.
- [24] 田义超, 梁铭忠. 北部湾沿海地区植被覆盖对气温和降水的旬响应特征[J]. *自然资源学报*, 2016, 31(3):488-502.
- [25] 毋亭, 张勇, 侯西勇. 基于半变异函数的环渤海地区 NDVI 空间格局特征研究[J]. *生态科学*, 2014, 33(2):313-320.
- [26] 成方妍, 刘世梁, 尹艺洁, 等. 基于 MODIS NDVI 的广西沿海植被动态及其主要驱动因素[J]. *生态学报*, 2017, 37(3):788-797.
- [27] 奚砚涛, 徐勇, 刘欣婷. 2000-2013 年江苏省不同植被类型 NDVI 时空变化特征[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1):86-91, 2.
- [28] 贺肖芳, 陈燕, 朱敏, 等. 盐城海岸带植被覆盖度时空变化及其与土地利用变迁响应研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2016, 36(2):101-105.
- [29] 许德伟, 杨燕明, 陈本清, 等. 福建省海岛海岸带高分辨率遥感调查实践[M]. 北京: 海洋出版社, 2011.
- [30] 苏奋振. 海岸带遥感评估[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [31] Carter R W G. *Coastal Environments*[M]. London: Academic Press, 1988:617-618.
- [32] 国家标准局. 全国海岸带和海涂资源综合调查档案标准 GB/T9852. 1-1988[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
- [33] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系: 基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. *遥感学报*, 1998, 2(3):204-210.
- [34] 罗亚, 徐建华, 岳文泽. 基于遥感影像的植被指数研究方法述评[J]. *生态科学*, 2005, 24(1):75-79.
- [35] 刘玉安, 黄波, 程涛, 等. 基于像元二分模型的淮河上游植被覆盖度遥感研究[J]. *水土保持通报*, 2012, 32(1):93-97.
- [36] Qi J. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 105(1/2/3):55-68.
- [37] 孙久虎, 刘晓萌, 李佑钢, 等. 北运河地区植被覆盖的遥感估算及变化分析[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(6):97-99.
- [38] 牛宝茹, 刘俊蓉, 王政伟. 干旱区植被覆盖度提取模型的建立[J]. *地球信息科学*, 2005(1):84-86, 97.
- [39] Rundquist B C. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tall-grass prairie [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81(1):129-135.
- [40] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. *资源科学*, 2004, 26(4):153-159.