

1995年—2015年广西海岸带养殖用地的时空分布*

Analyses on Spatial - Temporal Evolution Pattern of Coastal Aquaculture in Guangxi Coastal Zone in the 1995-2015 Years

蒙 静^{1,2,3}, 华 璀^{1,2,3**}, 张建兵^{1,2,3}, 卢 远^{1,2,3}

MENG Jing^{1,2,3}, HUA Cui^{1,2,3}, ZHANG Jianbing^{1,2,3}, LU Yuan^{1,2,3}

(1. 广西师范学院, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001; 2. 广西师范学院, 广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西南宁 530001; 3. 广西师范学院地理科学与规划学院, 广西南宁 530001)

(1. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 3. School of Geography and Planning, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

摘要:【目的】海岸带由于其生态功能的重要性和脆弱性,一直是生态相关研究的焦点区域,其景观格局变化及环境效应尤受关注。由于广西北部湾滨海养殖用地的快速扩增,导致该区景观格局显著改变,因此开展其时空演变特征研究,以综合评价其环境效应。【方法】以北部湾滨海 1995年、2000年、2005年、2010年和 2015年 Landsat 多光谱遥感影像为数据源,采用 MNDWI 水体指数(Madify Normalize Difference Water Index)和面向对象分类方法,提取各期研究区养殖用地信息,并基于土地利用动态变化模型,综合分析研究区养殖用地 20年的时空演变特征。【结果】20年来北部湾滨海养殖用地时空演变显著,在数量上先增后减,养殖面积由 1995年的 9 024.03 hm²增加到 2010年的 41 153.58 hm²,而后逐年减至 2015年的 38 903.95 hm²;空间上逐年向西北移动,并整体分布于北海滨海一带。【结论】北部湾滨海养殖用地的增长源主要为耕地和近岸海域,而去向则主要为建设用和废弃地,导致该区高生态服务价值用地(耕地、滩涂等)减少,环境效应出现负面趋向(养殖污染、自然岸线破坏等)。

关键词: MNDWI 水体指数 滨海养殖 时空演变 环境效应 广西北部湾

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)02-0135-09

Abstract:【Objective】Coastal zone has been the core area in ecological related research because of the importance and vulnerability of its ecological function, and its landscape pattern changes and environmental effects are of particular concern. Due to the rapid expansion of the coastal land of Guangxi Beibu Gulf, the landscape pattern of the area changed significantly, so it was necessary

to make a comprehensive evaluation of environmental effects by analyzing the spatial pattern of Beibu Gulf coastal aquaculture land.

【Methods】Based on the Landsat TM/ETM+ images of Beibu Gulf coastal aquaculture land in 1995, 2000, 2005, 2010, 2010 and 2015, the MND-

收稿日期: 2017-01-14

作者简介: 蒙 静(1992-), 女, 硕士研究生, 主要从事遥感与 GIS 应用研究。

* 广西自然科学基金项目(2014GXNSFAA118293)资助。

** 通信作者: 华 璀(1962-), 女, 副教授, 主要从事资源环境遥感研究, E-mail: huacui163@163.com。

WI and object-oriented classification method were used to extract the information of the aquaculture land in each research area, and based on land use Dynamic change model, the spatial and temporal evolution characteristics of the aquaculture land during the recent 20 years were analyzed comprehensively. **【Results】**Results showed that from 1995 to 2015, the spatial temporal evolution in Guangxi Beibu Gulf coastal changed significantly. The aquaculture area increased first and then decreased. From 1995 to 2010, the aquaculture area increased from 9 024. 03 hm² to 41 153. 58 hm², and then decreased to 38 903. 95 hm² in 2015. Comprehensive analysis led to the conclusion that the gravity center of the aquaculture area moved to the northwest on the whole, and the aquaculture land mainly distributed in Beihai. **【Conclusion】**The growth sources of aquaculture land in Beibu Bay were mainly cultivated land and coastal waters, while the loss of aquaculture land were mainly turned into construction land and abandoned land, which led to the reduction of high ecological service value land (such as arable land and tidal flats), and the negative environmental effect (such as aquaculture pollution and natural coastline destruction).

Key words: modify normalize difference water index, coastal aquaculture, spatial and temporal change, environmental effects, Guangxi Beibu Gulf coastal

0 引言

【研究意义】海岸带是海陆生态系统的过渡区域,是地球上最重要的生态交错带^[1-2],由于受海陆多种因素影响,其生态系统结构复杂,景观类型多样,人类活动聚集,是多个学科研究关注的焦点区域^[3-4]。伴随人类大量涌入海岸带区,海岸带开发强度日益增强,生态环境系统遭到严重的破坏,导致近年来滨海区域的灾害与环境问题频繁发生。养殖作为广西北部湾滨海地区的传统产业,在地区生产中占有重要地位^[5-6]。近年来,伴随着人们对养殖产品需求的增加,滨海养殖业发展迅速,导致养殖用地快速扩增,并对北部湾海岸带景观及生态服务功能造成系列影响。同时,北部湾海岸带环境问题逐年涌现,如不达标水质面积增加、入海污染物量上升、红树林面积降低、自然岸线减少等,这些都与海岸带土地利用的快速转变有关,其中尤以养殖用地变化最为明显^[5,7]。滨海养殖用地作为海岸带土地利用的重要组成部分之一^[8],对海岸带景观及生态服务功能具有重要影响,因此对滨海区域土地利用变化的研究日益引起专家学者的重视。**【前人研究进展】**国外学者较早对水产养殖区的时空演变、规划和管理^[9-10]、环境效应^[11-13]等方面进行深入研究,如 Newkirk^[9]提出可持续发展的沿海生产系统(SCPS),为沿海的生产管理提供参考;Dudley等^[14]提出应用 AWATS 模型对水产养殖废弃物进行监管;Mente等^[10]和 Tovar等^[15]的实验表

明滨海养殖业影响滨海水质。而我国学者也对滨海养殖用地信息提取方法和比较^[16-22]、养殖用地时空演变特征^[23-27]、养殖用地变化驱动因素及其存在问题^[28-29]等方面进行探讨,如马艳娟等^[16]构建水产养殖区域指数和深海区域提取指数,实现 ASTER 遥感影像近海水养殖区的提取;徐源璟等^[23]分析近 30 年山东省沿海养殖用地格局演变特征与养殖区增长来源。**【本研究切入点】**以广西海岸带养殖用地为研究对象,探讨其近 20 年的时空变化规律。**【拟解决的关键问题】**通过综合分析广西海岸带时空演变特征,揭示其在北部湾海岸带景观格局演变及其环境效应中的贡献,为北部湾滨海近年来出现的生态环境问题及其综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

广西北部湾位于中国南海的西北部(21°24'20"~22°01'20"N,107°56'30"~109°40'00"E),东临我国雷州半岛和海南岛,西临越南,海岸线长约 1 500 km,行政区包括防城港市、钦州市、北海市 3 个地市的 8 个县区(图 1)。研究区地处亚热带季风气候区,气候温和,地势西北高东南低,海岸线迂回曲折,滩涂广阔,水热条件优良,沿岸有南流江、大风江、钦江等河流注入北部湾,为养殖业的发展提供优越的环境与物质条件。

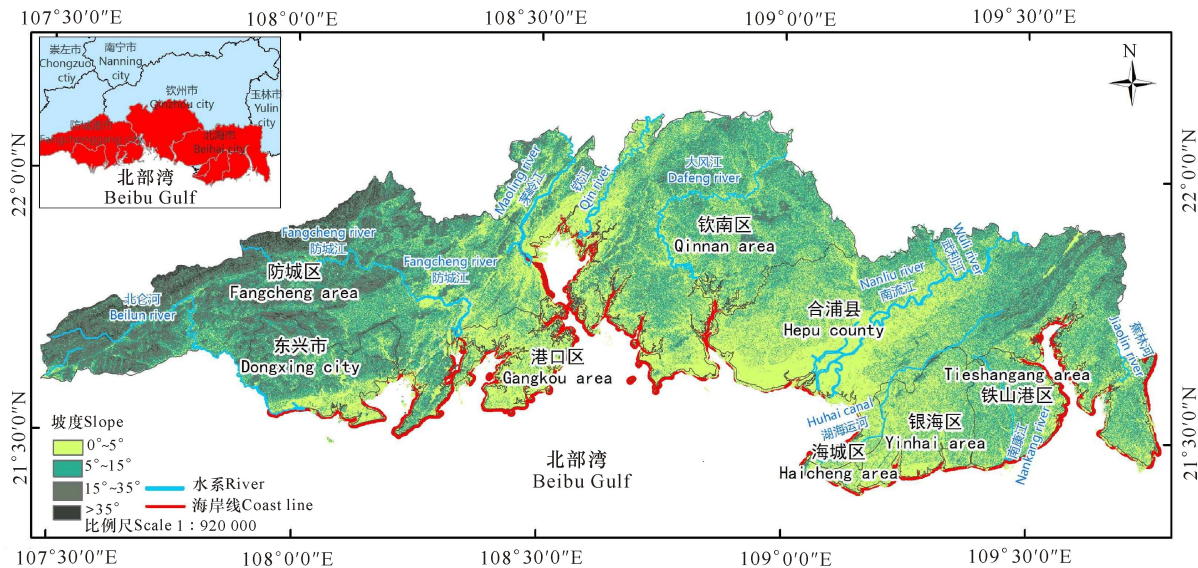


图1 研究区范围

Fig. 1 Study area

1.2 数据来源和预处理

本研究以 Landsat 卫星影像为数据源,获取广西北部湾海岸带区(行列号为 124/045、125/45)1995 年(Landsat 5-TM)、2000 年(Landsat-7-ETM+)、2005 年(Landsat-5-TM)、2010 年(Landsat 7-ETM)和 2015 年(Landsat-8 OLI)共 5 期多光谱遥感影像以提取该区滨海养殖用地信息。为保证影像质量和降低系统误差,根据研究区气候特征,本研究所选用影像的成像时间均为各研究年份的 11—12 月份,分辨率均为 30 m。同时,对遥感影像进行大气校正和图像镶嵌处理,以得到本研究所需遥感影像数据集。

1.3 养殖用地提取与精度验证

本研究采用面向对象分类方法(ENVI Feature Extraction 模型)中的规则分类与 MNDWI 水体指数相结合的方法提取研究区养殖用地信息。面向对象方法是综合光谱、空间纹理等特征信息对影像进行信息提取,能较好地反映地类斑块的多尺度和多特征特点,是目前普遍采用的一种用于影像信息提取的方法^[22]。MNDWI 水体指数(Modify Normalize Difference Water Index,修改后的归一化水指数)^[30]是在 Mcfeeters 提出的 NDWI 分析基础上,利用水体与建筑在中红外波段的反差,对 NDWI 指数进行修改。利用 MDDWI 水体指数可以降低水体与建筑的混淆、减少背景噪音,可以解决水体信息中杂有阴影的问题和提取细小水体信息,并可探测到许多水体的微细变化信息。其计算如下:

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR), (1)$$

式中, MIR 为中红外波段, Green 为绿光波段。

研究区养殖用地信息的提取步骤如下:首先采用广西科学 2017 年 4 月 第 24 卷第 2 期

edge-based 算法分割原始影像,选用 fast lambda 算法合并分割后的图斑,其中分割尺度设置为 50%,图斑合并尺度设置为 50%,该设置能够较为完整地、准确地分割与合并 Landsat 卫星图像中的养殖用地;其次,使用 MNDWI 水体指数进行水陆分离;然后,根据海域、河流、湖泊不规则的空间特征构建 Area、form factor、elongation 等指数规则,剔除海水、河流等非养殖水域;最后,结合原始影像、谷歌影像对分类结果进行检查和初步结果校正。

为验证养殖用地提取精度的准确性与可信度,对分类结果进行精度评价,通过在影像上随机选择样本 360 个,采用混淆矩阵方法对各期影像处理后的分类结果进行精度评价,验证精度为 92%~95.98%,证明分类结果的有效性。

1.4 养殖用地时空演变特征分析

为揭示北部湾养殖用地从 1995 年—2015 年在数量和空间上的变化特征,本研究采用土地利用时空演变模型^[31-32],利用单一土地利用类型动态度、土地利用空间变化规律特征和土地利用类型转移矩阵等多项指标,分析研究区近 20 年养殖用地的数量变化特征、空间重心分布规律以及养殖用地来源去向。

1) 单一土地利用类型动态度

单一土地利用类型动态度表示单一土地利用类型在一定时期内的变化速度和幅度的指标,其计算公式如下:

$$K = \frac{(S_j - S_i)}{S_i} \times \frac{1}{T} \times 100\%, (2)$$

式中, K 为研究时段内某一土地利用类型动态度,反应单一土地利用类型的增减变化幅度; S_j 、 S_i 分别表

示某一种土地类型研究期末、始的数量； T 表示研究时段间隔。当 K 为正值时，表示该土地利用类型处于增长时期，反之表示处于减少时期。

2) 土地利用空间变化规律特征

土地利用空间变化规律特征表示在一定时期中某一种土地利用类型的空间变化规律，其计算公式如下：

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}},$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}}, \quad (3)$$

式中， X_t, Y_t 分别表示第 T 年某种土地资源分布重心的经纬度坐标； C_{ii} 表示第 i 个小区域该种土地资源的面积； X_i, Y_i 分别表示第 i 个小区域的几何中心（或旗县所在地）的经纬度坐标。通过比较研究期初和研究期末各种土地资源的分布重心，阐明研究时段内其空间分布的演变过程。

3) 土地利用类型转移矩阵

土地利用转移矩阵表示不同时期中土地利用类型之间的变换情况，可有效地分析土地利用类型之间

的转换特征^[33]。本研究借鉴土地利用转移矩阵方法，分析不同时期养殖用地增减区域的来源与去向。

2 结果与分析

基于提取的各期滨海养殖用地信息，对北部湾滨海养殖用地时空分布特征进行整体描述，并以沿海 3 个地级市防城港市、钦州市和北海市为次级区域单元，对 5 期广西北部湾滨海养殖用地在时间、空间上以及增减区域土地利用类型的分布规律进行详细分析。

2.1 北部湾滨海养殖用地现状

北部湾滨海养殖用地面积较大，2015 年达 38 903.95 hm²，沿海岸线区域均有所分布（基岩海岸与城区除外）。北海、钦州和防城港市养殖用地面积分别为 24 174.00 hm²、7 067.26 hm²、7 662.69 hm²，其中尤以北海市合浦县境内为主（图 2）。结合研究区地形（图 1）可知，养殖用地主要分布于河口区、滩涂区和利于变耕地为养殖用地的滨海平原区，其中南流江河口及邻近平原区养殖面积达 12 839.48 hm²，为北部湾滨海养殖的集中分布区。

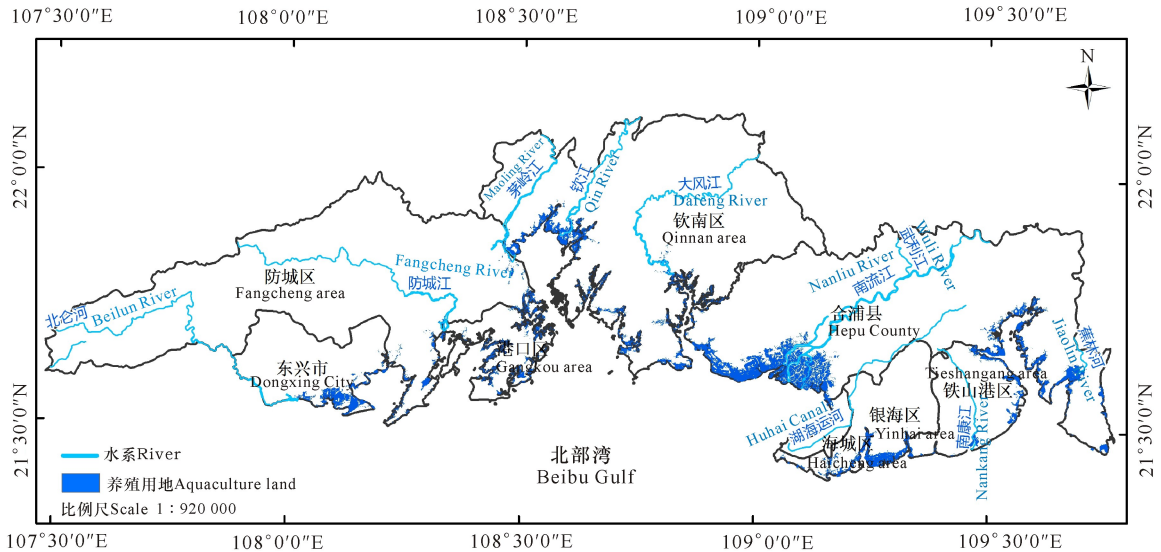


图 2 2015 年北部湾滨海养殖用地状况

Fig. 2 Spatial distribution of aquaculture land in the Beibu Gulf coastal areas (2015)

2.2 北部湾滨海养殖用地时间变化特征

以 1995 年的养殖用地为基期年，分析研究区近 20 年养殖用地的变化情况。由图 3 可知，研究区养殖用地时间变化特征明显，其面积由 1995 年的 9 024.03 hm² 增至 2015 年的 38 903.95 hm²，增幅达 4.3 倍。北海市和防城港市养殖面积先增长后下降，而钦州市养殖面积持续增长。同时，其变化趋势可分为两个阶段。一是 1995 年—2010 年的持续增加期，养殖面积由 9 024.03 hm² 扩大到 41 153.58 hm²，增

幅为 356.04%，其中以 2000 年—2005 年阶段扩增最快，增加面积达 12 297.22 hm²，占总增量的 38.27%；再者是 1995 年—2000 年和 2005 年—2010 年，分别占总增长量的 31.55%、30.17%；作为养殖主要集中区的北海市 1995 年—2010 年持续高速增长，由 6 159.783 hm² 增至 25 939.593 hm²，3 个时段中，北海市养殖面积增长量分别占研究区总增长量的 16.26%、21.79%、23.51%，同时段防城港市和钦州市养殖面积分别由 1 485 hm² 增至 7 559.28 hm²、

1 379.25 hm²增至 7 654.71 hm²。二是 2010 年—2015 年的减少期,养殖总面积减少 2 249.63 hm²,其中北海市和防城港市养殖面积减少量分别为 1 765.59 hm²、492.01 hm²,而钦州则增加 7.98 hm²。

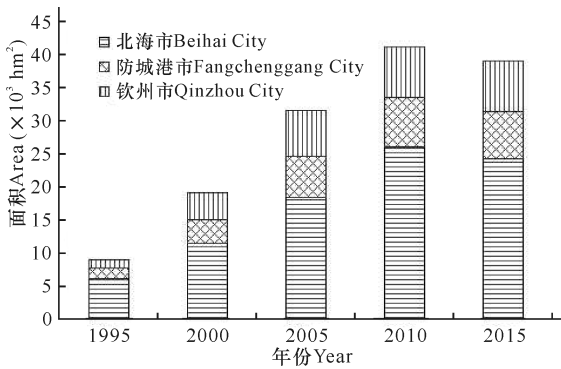


图3 1995年—2015年北部湾滨海三市养殖用地时间变化情况

Fig. 3 Aquaculture land of three cities in the Beibu Gulf coastal areas (1995-2015)

由 1995 年—2015 年研究区养殖用地面积动态可知,养殖面积由前 10 年(动态度值由 0.22 变为 0.05)的快速增加而后逐渐趋于后 10 年(动态度值由 0.05 变为 -0.01)的平稳状态(图 4)。滨海三市养殖用地面积动态度的变化特征与整体变化趋势相近,即随着时间向前推进,增长速度日益减慢(表 1)。在增长期,钦州市养殖面积增长幅度变化是最大的,由 1995 年—2000 年的 0.40 变为 2005 年—2010 年的 0.02;其次是防城港市,由 1995 年—2000 年的 0.29 变为 2005 年—2010 年的 0.04;北海市则由 1995 年—2000 年的 0.17 变为 2005 年—2010 年的 0.08。在减少期,滨海三市动态度值分别为 -0.01, -0.01, 0,表明其年均变化面积较少。

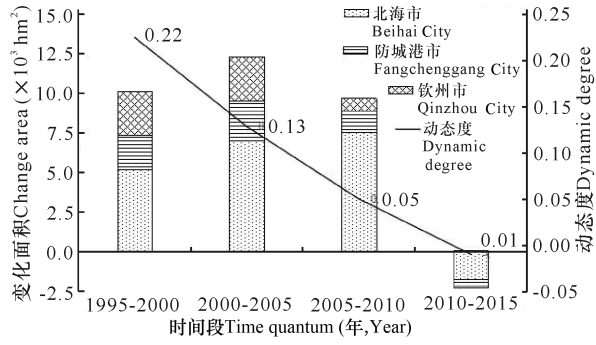


图4 1995年—2015年北部湾滨海养殖用地面积动态变化

Fig. 4 Change of aquaculture land in the Beibu Gulf coastal areas (1995-2015)

2.2.1 北海市辖区养殖用地变化特征

北海市养殖用地空间分布不均匀,养殖区域主要

集中于南流江河口区,时间变化特征与研究区整体相似,但增减幅度不一。研究期内,其所辖合浦县、海城区、铁山港区和银海区在 1995 年—2010 年间的增加趋势分别由 3 473.83 hm²、87.48 hm²、656.36 hm²、1 942.11 hm²增加到 19 355.43 hm²、203.87 hm²、2 427.96 hm²和 3 519.30 hm²。3 个时段中,合浦县养殖增长量分别占北海市总增长量的 17.45%、28.72%、34.12%,海城区养殖增长量分别占北海市总增长量的 0.06%、0.26%、0.27%,铁山港区养殖增长量分别占北海市总增长量的 3.10%、3.87%、1.98%,银海区养殖增长量分别占北海市总增长量的 5.81%、2.54%、1.82%。在减少期(2010 年—2015 年),合浦县养殖用地减少面积所占比例最大,占北海市养殖减少面积的 53.54%,而银海区、铁山港区和海城区养殖减少量分别占北海市养殖总减少量的 24.53%、19.95%、1.98%(图 5)。

表 1 1995 年—2015 年北部湾滨海三市养殖用地动态度变化

Table 1 Change of aquaculture land of three cities in the Beibu Gulf coastal areas (1995-2015)

地区 Region	时间段(年) Time quantum (Year)			
	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
北海市 Beihai City	0.17	0.12	0.08	-0.01
防城港市 Fangchenggang City	0.29	0.14	0.04	-0.01
钦州市 Qinzhou City	0.40	0.13	0.02	0.00

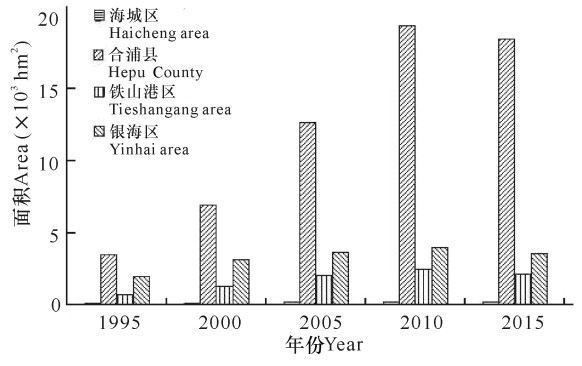


图5 1995年—2015年北海市各辖区养殖用地面积

Fig. 5 Aquaculture land of four jurisdictions in the city of Beihai City (1995-2015)

2.2.2 防城港市辖区养殖用地变化特征

防城港市养殖用地面积空间分布格局不均匀,养殖面积集中分布于东兴市和港口区。其时间变化特征与研究区相似,但增减幅度不一。研究期内,其所辖东兴市、港口区和防城区在 1995 年—2010 年间的

增加趋势分别由 753.57 hm²、617.04 hm²、114.39 hm²增加到 3 158.29 hm²、2 976.76 hm²和 1 424.22 hm²。3 个时段中,东兴市养殖增长量分别占防城港市总增长量的 12.42%、15.82%、11.34%,港口区养殖增长量分别占防城港市总增长量的 22.13%、13.34%、4.38%,防城区养殖增长量分别占防城港市总增长量的 0.71%、14.19%、6.66%。在减少期(2010 年—2015 年),养殖面积减少区域集中在港口区,减少 564.55 hm²,而防城区养殖面积增加 95.67 hm²(图 6)。

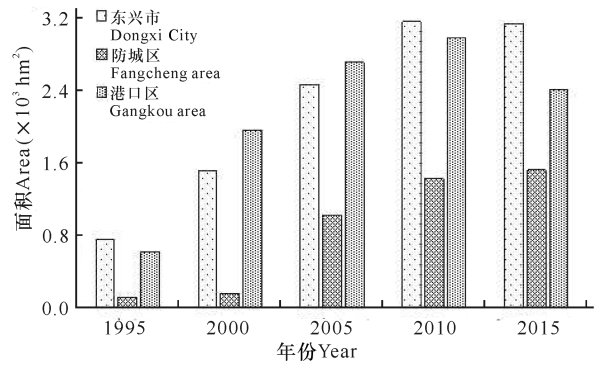


图 6 1995 年—2015 年防城港市各辖区养殖用地面积
Fig. 6 Aquaculture land of three jurisdictions in the city of Fangchenggang City (1995-2015)

2.3 北部湾滨海养殖用地空间变化特征

北部湾滨海养殖用地空间分布格局不均匀,从行政辖区来说,其面积主要集中在北海市内;从地形来讲,主要分布于河口与滨海平原区,且主要分布于土地利用类型便于向养殖用地转换的区域,如南流江河口及其冲积平原区(图 7)。

20 年来,随着北部湾滨海养殖用地格局不断改变,其养殖区分布重心随之迁移。从各研究时段养殖用地空间分布的空间重心位置(图 7)可知,1995 年—2015 年北部湾滨海养殖用地逐年向西北方向移动,养殖增减区域主要集中防城港市、钦州市和合浦县,其中 1995 年—2000 年和 2000 年—2005 年养殖区重心迁移明显,可知该时段内南流江以南、钦州市和防城港市养殖面积增加较大,而 2010 年—2015 年其重心往东南方向迁移。

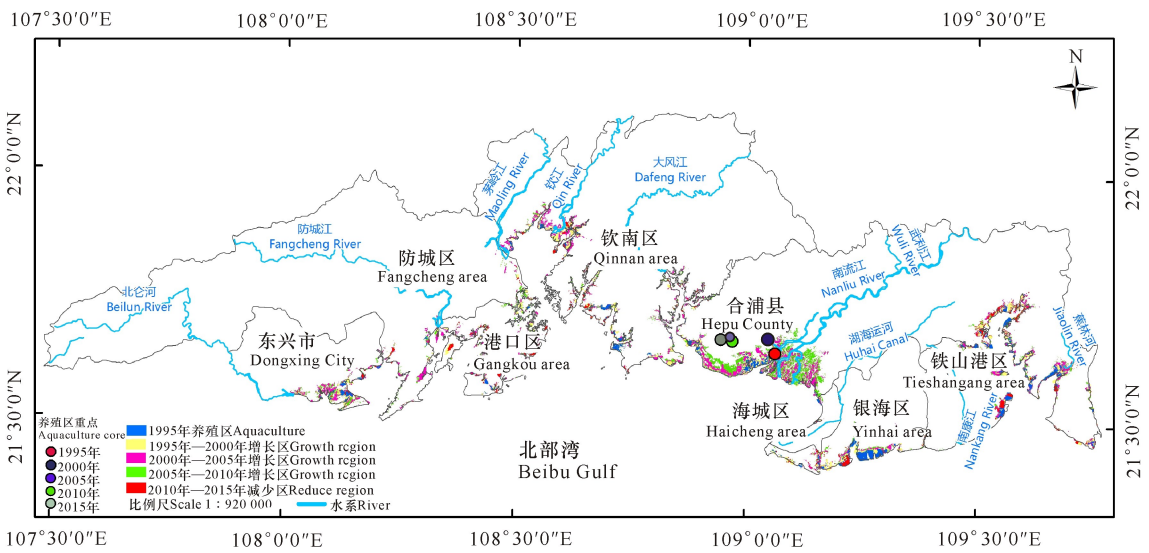


图 7 1995 年—2015 年北部湾滨海养殖增减区分布与重心迁移

Fig. 7 Spatial distribution of change and migration of gravity center of the aquaculture area(1995-2015)

2.4 北部湾滨海养殖用地转换特征

对 1995 年—2000 年、2000 年—2005 年、2005 年—2010 年和 2010 年—2015 年 4 时段养殖用地增减区进行土地利用转换分析可知,1995 年—2010 年研究区养殖用地增长源主要为耕地和海域,且耕地转换为养殖用地的比重逐年上升,占各阶段增长面积比重分别为 49%、64%、71%,而向海域圈海养殖用地的比重则逐年下降(图 8)。同时,各市养殖用地与其

他土地利用类型间的转换特征不一,在养殖用地增长期,北海市养殖用地增长源主要为耕地,且所占比重逐年增加,向海域扩张逐年减少,而钦州市则刚好相反。耕地在 1995 年—2000 年、2000 年—2005 年和 2005 年—2010 年时间段对北海市养殖用地增长的贡献率分别是 55%、78%、93%。防城港市养殖用地 1995 年—2010 年的增长源主要为海域,其所占增加面积的比重分别是 78%、51%和 68%。钦州市养殖

用地转换特征表现为 1995 年—2000 年的增加源主要为耕地, 占增长面积的 58%; 2000 年后, 占用海域养殖逐渐成为钦州市养殖用地的主要来源, 其增比在 2000 年—2005 年和 2005 年—2010 年分别为 54% 和 80%。2010 年为北部湾滨海养殖用地的转折点, 其面积逐渐趋于平稳和减少, 通过分析 2010 年—2015 年减少区的土地利用类型转换特征可知, 减少的养殖用地主要转化为建设用地或裸地(废弃养殖区)。

滨海养殖业对海岸带的生态环境变化有着间接联系^[25]。伴随养殖产业的发展, 北部湾沿海地区大部分农田被转换为虾塘, 耕地变为养殖用地, 随之出现以下问题: 1) 大面积农田被占据, 导致北部湾粮食生产数量下降; 2) 受病虫害和市场的影响, 养虾产业发展受挫, 虾塘土地转型困难; 3) 养殖废水随意排放, 污染北部湾近岸区域环境。而圈海发展养殖业, 导致沿海自然滩涂湿地总面积缩减、自然岸线缩短, 生物多样性遭到破坏等, 间接地导致北部湾海岸带自然灾害频繁发生: 天然动植物濒临绝迹, 浮游植物异常增殖, 赤潮和绿潮隐患明显增多等。另外, 养殖废弃物的排放, 使得含有大量活性磷酸盐、无机氮的养殖废弃物随意排入近海区域, 导致滨海养殖集中区域水质恶化、赤潮生物出现频繁、生物多样性破坏、海洋环境损害风险增大。养殖业的快速发展引发的一系列问题, 间接地阻碍了养殖业的发展。因此, 加强对滨海养殖业的科技投入及科学监管与规划, 使其合理、有序、有度的发展, 是实现广西北部湾滨海养殖业可持续发展的关键。

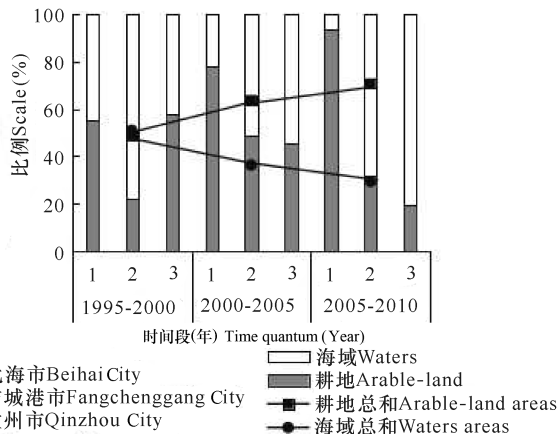


图 8 1995 年—2010 年北部湾滨海养殖区增长源变化趋势

Fig. 8 Change of growth source of aquaculture area in the Beibu Gulf coastal areas (1995-2015)

2.5 北部湾滨海养殖用地时空变化原因及其环境效应分析

北部湾滨海养殖时空演变特征明显, 这与其自然环境和区域经济发展直接相关。受北部湾地形因素影响, 北部湾滨海养殖主要分布在利于养殖的区域, 如河口、滨海平原区等。养殖用地的集中分布区——南流江下游区, 兼具河口及平原优势: 一方面陆源营养物质的输入以及陆海物质的广泛交换利于咸淡水养殖, 另一方面利于养殖基础设施建设(如养殖池塘、交通等)。

北部湾滨海养殖用地的时间变化特征则与该区社会经济发展直接相关。1995 年—2010 年, 受养殖业高收益驱动, 研究区开展大量的围海养殖与变耕地为养殖用地活动, 致使养殖面积急剧增加; 而 2010 年后养殖效益逐渐降低(高成本和病虫害等), 从事养殖产业人群逐渐减少, 养殖面积减少。此外, 伴随研究区城镇化发展和产业结构升级, 尤其是在《广西北部湾经济区发展规划》推进以后, 部分滨海区域土地功能发生转变, 如构建临海重化工业集中区(钦州港工业区、企沙工业区和铁山港工业区)等, 导致合浦县以北、铁山港区、银海区(旅游开发区)、港口区滨海养殖面积大范围减少。

3 结论

本研究基于北部湾滨海多期遥感影像, 采用影像解译与数理统计相结合的方法, 综合分析该区养殖用地的时空演变特征, 得出以下结论:

1) 1995 年—2015 年, 研究区养殖用地数量变化明显, 并可分为两个阶段: 一是 1995 年—2010 年的养殖增长期, 二是 2010 年—2015 年的养殖减少期, 近年来逐渐趋于平稳状态。

2) 在空间分布特征上, 研究区养殖用地分布格局不均匀, 主要分布于河口与滨海平原区, 且主要分布于土地利用类型便于向养殖用地转换的区域, 如南流江河口及其冲积平原区。研究期北部湾滨海养殖用地空间分布发生明显的迁移, 养殖重心向西北方向迁移明显。北海市是北部湾滨海养殖业的主要发展区域。

3) 研究区养殖用地增长源主要为耕地和海域, 且耕地转换为养殖用地的比重逐年上升, 而向海域圈海养殖用地的比重则逐年下降, 但滨海三市养殖用地与其他土地利用类型间的转换特征不一: 北海市养殖用地增长源变化趋势与研究区相似; 防城港市增长源主要为海域圈海养殖, 其次是耕地; 钦州市向海域圈海养殖成为其发展趋势。减少的养殖用地主要转化为建设用地或裸地(废弃养殖区)。

4) 北部湾滨海养殖区的时空演变特征与其地形、市场以及一系列政策措施的实施等有着直接联系。

同时,滨海养殖用地的快速扩张对海岸带景观格局与生态环境有着重要影响,如自然岸线破坏、养殖区海水污染等。

因此,加强北部湾海岸带养殖业发展的科学管理与规划,建立区域农业监测管理系统,控制滨海养殖用地的扩张范围、对养殖废弃物经过集中处理后再排放、加强对养殖户进行养殖技能培训可有效地减少污染物量等举措,对海岸带社会生态系统的可持续发展至关重要。

参考文献:

[1] JAGOMAGI J, KÜLVIK M, MANDERÜ, et al. The structural-functional role of ecotones in the landscape [J]. *Ekologia*, 1988, 7(1): 81-94.

[2] ATTRILL M J, RUNDLE S D. Ecotone or ecocline: Ecological boundaries in estuaries [J]. *Estuarine, Coastal Land Shelf Science*, 2002, 55(6): 929-936.

[3] MANDELBROT B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension [J]. *Science*, 1967, 156(3775): 636-638.

[4] CHAPPELL J. Coral morphology, diversity and reef growth [J]. *Nature*, 1980, 286(5770): 249-252.

[5] 王芳. 北部湾海洋资源环境条件评述及开发战略构想 [J]. *资源·产业*, 2000(1): 37-41.

WANG F. Review and development strategy of marine resources and environment in Beibu Gulf [J]. *Resources and Industry*, 2000(1): 37-41.

[6] 李坚明. 广西优势水产品发展现状与对策 [J]. *中国渔业经济*, 2008, 26(1): 98-100.

LI J M. Development status and countermeasures of Guangxi's superior aquatic products [J]. *Chinese Fishery Economy*, 2008, 26(1): 98-100.

[7] 郑跃鹏. 基于“3S”技术的广西北海岸带变化研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.

ZHENG Y P. Research on Guangxi coastal zone change based on “3S” technology [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.

[8] 孙龙启. 广西近海生态系统健康评价 [D]. 厦门: 厦门大学, 2014.

SUN L Q. Guangxi offshore areas ecosystem health assessment [D]. Xiamen: Xiamen University, 2014.

[9] NEWKIRK G. Sustainable coastal production systems: A model for integrating aquaculture and fisheries under community management [J]. *Ocean & Coastal Management*, 1996, 32(2): 69-83.

[10] MENTE E, PIERCE G J, SANTOS M B, et al. Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: A synthesis for European

aquaculture [J]. *Aquaculture International*, 2006, 14(5): 499-522.

[11] WU B L. Pollution has damaged coastal aquaculture [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1991, 22(8): 371-372.

[12] CHUA T E. Coastal aquaculture development and the environment: The role of coastal area management [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1992, 25(1/2/3/4): 98-103.

[13] PÁEZ-OSUNA F. The environmental impact of shrimp aquaculture: A global perspective [J]. *Environmental Pollution*, 2001, 112(2): 229-231.

[14] DUDLEY R W, PANCHANG V G, NEWELL C R. Application of a comprehensive modeling strategy for the management of net-pen aquaculture waste transport [J]. *Aquaculture*, 2000, 187(3/4): 319-349.

[15] TOVAR A, MORENO C, MÁNUEL-VEZ M P, et al. Environmental implications of intensive marine aquaculture in earthen ponds [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40(11): 981-988.

[16] 马艳娟, 赵冬玲, 王瑞梅, 等. 基于 ASTER 数据的近海水产养殖区提取方法 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(S2): 120-124.

MA Y J, ZHAO D L, WANG R M, et al. Offshore aquatic farming areas extraction method based on ASTER data [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(S2): 120-124.

[17] 李俊杰, 何隆华, 戴锦芳, 等. 基于遥感影像纹理信息的湖泊围网养殖区提取 [J]. *湖泊科学*, 2006, 18(4): 337-342.

LI J J, HE L H, DAI J F, et al. Extract enclosure culture in lakes based on remote sensing image texture information [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18(4): 337-342.

[18] 王静, 高俊峰. 基于对应分析的湖泊围网养殖范围提取 [J]. *遥感学报*, 2008, 12(5): 716-723.

WANG J, GAO J F. Extraction of enclosure culture in Gehu lake based on correspondence analysis [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(5): 716-723.

[19] 初佳兰, 赵冬至, 张丰收. 基于关联规则的裙带菜筏式养殖遥感识别方法 [J]. *遥感技术与应用*, 2012, 27(6): 941-946.

CHU J L, ZHAO D Z, ZHANG F S. Wakame raft interpretation method of remote sensing based on association rules [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2012, 27(6): 941-946.

[20] 韩鹏鹏, 黄进良, 李仁东, 等. 基于面向对象的坑塘遥感监测与动态分析 [J]. *农业机械学报*, 2015, 46(1): 272-277.

HAN P P, HUANG J L, LI R D, et al. Remote sensing monitoring and dynamic analysis of ponds based on ob-

- ject-oriented rules[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1): 272-277.
- [21] 谢玉林,汪闽,张新月. 面向对象的海岸带养殖水域提取[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(1): 68-72.
XIE Y L, WANG M, ZHANG X Y. An object-oriented approach for extracting farm waters within coastal belts[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(1): 68-72.
- [22] 徐京萍,赵建华,张丰收,等. 面向对象的池塘养殖用海信息提取[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 82-85.
XU J P, ZHAO J H, ZHANG F S, et al. Object-oriented information extraction of pond aquaculture[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2013, 25(1): 82-85.
- [23] 徐源璟,张增祥,汪潇,等. 近 30 年山东省沿海养殖用地遥感监测分析[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(3): 482-489.
XU Y J, ZHANG Z X, WANG X, et al. Remote sensing monitoring and temporal variation analysis of coastal aquaculture in Shandong Province in the recent three decades[J]. Journal of Geo-Information Science, 2014, 16(3): 482-489.
- [24] 林巧莺,林广发,陈志鸿,等. 近 20 年来厦门市滩涂养殖时空演变与政策驱动分析[J]. 地球信息科学, 2007, 9(2): 9-13.
LIN Q Y, LIN G F, CHEN Z H, et al. The analysis on spatial-temporal evolution of beach cultivation and its policy driving in Xiamen in recent two decades [J]. Journal of Geo-Information Science, 2007, 9(2): 9-13.
- [25] 高雷,杨晓梅,苏奋振,等. 珠江口养殖开发重心迁移的空间信息动态遥感分析[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(3): 35-40.
GAO L, YANG X M, SU F Z, et al. Remote sensing analysis of gravity-center migration of the aquaculture in the Zhujiang River Estuary[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(3): 35-40.
- [26] 高雷. 高分辨率遥感支持下的粤东海岸带调查与养殖开发变化分析[D]. 青岛: 山东科技大学, 2009.
GAO L. Eastern of Guangdong coastal survey and aquaculture development evolution analysis by high spatial resolution remote sensing image [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2009.
- [27] 王晓轩,夏丽华,邓珊珊,等. 基于 RS 和 GIS 的南海区基塘用地时空变化分析[J]. 资源与产业, 2011, 13(4): 55-60.
WANG X X, XIA L H, D S S, et al. Spatial-temporal changes in dike-pond land in Nanhai district based on RS and GIS[J]. Resources & Industries, 2011, 13(4): 55-60.
- [28] 王东石,高锦宇. 我国海水养殖业的发展与现状[J]. 中国水产, 2015(4): 39-42.
WANG D S, GAO J Y. The development and the status quo of mariculture in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2015(4): 39-42.
- [29] 胡金有,王靖杰,张小栓,等. 水产养殖信息化关键技术研究现状与趋势[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 251-263.
HU J Y, WANG J J, ZHANG X S, et al. Research status and development trends of information technologies in aquacultures[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 251-263.
- [30] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
XU H Q. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index(MNDWI)[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 589-595.
- [31] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
WANG X L, BAO Y H. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. Progress in Geography, 1999, 18(1): 81-87.
- [32] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
LIU J Y, KUANG W H, ZHANG Z X, et al. Spatio-temporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3-14.
- [33] 陈龙,周生路,周兵兵,等. 基于主导功能的江苏省土地利用转型特征与驱动力[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 155-162.
CHEN L, ZHOU S L, ZHOU B B, et al. Characteristics and driving forces of regional land use transition based on the leading function classification: A case study of Jiangsu Province [J]. Economic Geography, 2015, 35(2): 155-162.

(责任编辑:米慧芝)