

杨广普,江涛,赵永芳,等. 基于长时序遥感影像的胶州湾秋季叶绿素 a 浓度变化及其影响因素研究[J]. 海洋学报, 2019, 41(1): 183—190, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.01.018

Yang Guangpu, Jiang Tao, Zhao Yongfang, et al. Study on variation in chlorophyll a concentration and its influencing factors of Jiaozhou Bay in autumn based on long term remote sensing images[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(1): 183—190, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.01.018

基于长时序遥感影像的胶州湾秋季叶绿素 a 浓度变化及其影响因素研究

杨广普¹,江涛¹,赵永芳²,黄珏^{1*}

(1. 山东科技大学 测绘科学与工程学院,山东 青岛 266590;2. 中国科学院 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站,山东 青岛 266071)

摘要: 水体中叶绿素 a 的含量是研究浮游植物生物量、初级生产力的重要指标,因此对于河口海湾区域叶绿素 a 的长期监测具有重要的生态学意义。借助遥感技术能够获取长时序大范围观测数据的特点,本文利用 1986—2015 年的 Landsat TM/ETM+ 影像,通过构建基于实测数据的定量反演模型,得到了 30 年来胶州湾海域秋季叶绿素 a 浓度的分布情况:叶绿素 a 浓度的空间分布规律稳定,呈现西北高东南低的特点,叶绿素 a 浓度均值呈波动略有上升的趋势。本文利用遥感反演的胶州湾海表面温度及胶州湾流域的土地利用分类和景观格局指数,从自然因素和人为因素两方面对胶州湾叶绿素 a 浓度时空分布的影响因素进行分析,发现胶州湾秋季叶绿素 a 浓度与海表面温度密切相关,并且受到近海养殖区破碎化程度、修建大型人工设施等人为因素的影响。

关键词: 叶绿素 a ; 时空分布; 遥感定量反演; 土地利用变化; 景观格局

中图分类号: P715.7

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2019)01-0183-08

1 引言

胶州湾(35°38'~36°18'N,120°04'~120°23'E)位于黄海中部、山东半岛南岸,经水道与黄海相连(图 1)。胶州湾是一个半封闭海湾,呈喇叭状,总面积 343.09 km²,平均水深约 7 m,共有 13 条河流汇入^[1-3]。胶州湾毗邻青岛的 7 个行政区,随着沿岸经济飞速发展,大量兴建的养殖池、晒盐池、港口、码头、桥梁等人工建筑逐步侵占了胶州湾面积,导致大部分的天然岸线变为人工岸线。此外,2007 年动工修建的胶州湾跨海大桥进一步改变了胶州湾的水动力

环境^[4]。

随着人类活动影响的加剧,胶州湾的生态环境也发生了巨大的变化^[5]。作为研究浮游植物生物量和水环境质量的重要指标因子,水体叶绿素 a 浓度一直受到研究者和管理者的关注。孙晓霞等^[5]等利用 1984—2008 年的实测数据对胶州湾叶绿素 a 浓度及初级生产力的季节、年度变化特征进行了研究。王玉珏等^[6]基于实测数据分析了 2010—2011 年胶州湾叶绿素 a 浓度及其影响因子之间的时空变化特征。但上述基于实测数据的研究往往具有站点有限、工作量巨大等特点,并且无法全面反映胶州湾海域叶绿素 a 浓度的时空分布

收稿日期:2018-02-08;修订日期:2018-03-31。

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2016DB23);国家自然科学基金项目(41706194);山东科技大学人才引进科研启动基金项目。

作者简介:杨广普(1994—),男,山东省聊城市人,主要从事遥感定量反演与遥感应用研究。E-mail: yangguangpu188@126.com

* 通信作者:黄珏,主要从事水色遥感研究。E-mail: huangjie@sdust.edu.cn

变化特征。而遥感技术凭借其快速获取大范围数据的特点,可以有效弥补现有研究的不足。黄薇^[7]、刘晓燕等^[8]利用 MODIS 遥感数据构建了叶绿素 *a* 浓度反演模型,分别研究了 2009 年和 2003—2012 年间胶州湾叶绿素 *a* 浓度时空分布和变化特征。

现有研究大多聚焦于叶绿素 *a* 浓度遥感模型的构建,且选用的遥感数据空间分辨率较低(MODIS 数据空间分辨率为 1 km),对于胶州湾较小的水域面积而言,难以准确的反映湾内叶绿素 *a* 浓度时空分布的细微变化,并且关于胶州湾叶绿素 *a* 浓度长时序的时空分布变化及其影响因素的研究还未见报道。因此本文选用 1986—2015 年间的 Landsat TM/ETM+ 影像数据(空间分辨率 30 m),基于实测数据和遥感影像构建了胶州湾叶绿素 *a* 浓度遥感反演模型,在此基础上得到了 30 年间胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度的时空分布规律和变化趋势;利用遥感反演的海表面温度数据和土地利用—景观格局数据,从自然因素和人为因素两个方面分析胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度时空分布的驱动因子,研究结果将为胶州湾环境管理、健康评价及可持续发展提供支持。

2 数据与方法

2.1 数据获取与预处理

胶州湾叶绿素 *a* 浓度实测数据来自胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站,观测站点位置如图 1,采集时间如表 1 所示。共获取 1~9 号站点与 Landsat 卫星过境时间相匹配(同一天)的 30 组实测叶绿素 *a* 浓度数据。利用有机玻璃采水器采集表层水样 500 mL,经孔径为 0.45 μm 的醋酸纤维素滤膜过滤水样,其中,1991—2002 年和 2003—2008 年的样品分别利用分光光度计和荧光光度计依据测量规范进行测量。经研究,两种测试方法的结果基本相当^[5],可以满足本文的需求。

Landsat TM/ETM+ 遥感数据来源于 USGS 官网(<http://www.usgs.gov/>),在 1986—2015 年秋季的影像中进行筛选,最终选取成像质量较好的 15 幅遥感影像进行叶绿素 *a* 浓度反演;选取其中 5 年的影像进行土地利用分类和景观格局指数提取(表 1)。Vanhellemont 和 Ruddick^[9-10] 的研究表明,仅扣除瑞利散射影响的 ACOLITE 大气校正方法在近岸浑浊水体的遥感反演中取得了成功的应用,因此本文采用 ACOLITE 大气校正软件对 Landsat 遥感影像进行大气辐射校正处理;使用 ENVI 5.1 对 Landsat ETM+

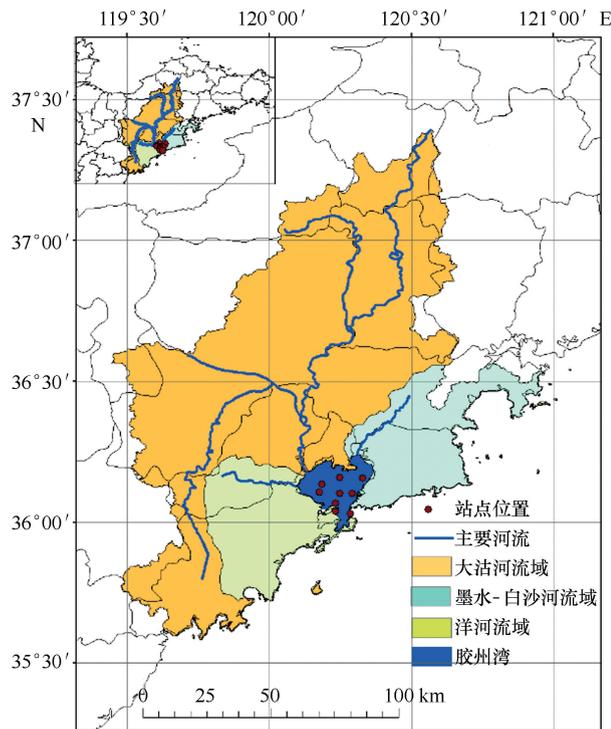


图 1 监测站点位置及流域影响范围

Fig.1 Location of monitoring station and influence scope of drainage basin

影像进行去条带处理。海表面温度数据来源于 NASA 水色网站 (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>),经实测数据验证,基于 MODIS 遥感影像反演得到的海表面温度数据在胶州湾海域具有较高的精度^[11],可以满足本文的需求。由于该数据集始于 2002 年,因此最终选取了与叶绿素 *a* 浓度反演结果时间相对应的 10 景数据(表 1)用于后续分析。

利用 ArcGIS 软件的 ArcSWAT 模块进行水文分析,将 SRTM 高程图(90 m 分辨率)输入 ArcSWAT 模块中建立河网并进行流域提取。选取流域内三大主要河流:大沽河、洋河和墨水—白沙河,分别提取其流域范围,将胶州湾流域进一步细分为三大子流域。最终获得的胶州湾流域影响范围包括青岛市内七区、胶州市、平度市、莱西市等区域,结果如图 1。

2.2 叶绿素 *a* 浓度遥感反演模型

现有的基于 Landsat TM/ETM+ 数据进行叶绿素 *a* 浓度遥感反演的研究中,常用的遥感反演因子主要有:单波段(B2、B4)^[12-13]、双波段比值(B4/B3)^[14]、(B3/B1)^[15]、多波段组合^[7]等形式。本文利用 20 组实测叶绿素 *a* 浓度数据及其对应位置的准同步 Landsat 卫星遥感反射率,通过波段敏感性分析、回归

建模等步骤,对比了上述反演模型。并利用剩余的10组实测数据对反演模型进行了真实性检验,结果如表2所示。从中选择反演效果最好的模型作为本文胶州湾叶绿素 *a* 浓度遥感反演模型:

$$Y = -6.69X + 7.22, \quad (1)$$

式中, $X = B4/B3$; Y 为叶绿素 *a* 浓度。该模型与谷俊

峰和裴亮^[14]、马荣华和戴锦芳^[15]的研究结果类似,选用的B3和B4波段恰好位于对叶绿素 *a* 浓度最为敏感的波段附近,可以有效提高叶绿素 *a* 浓度的估测精度。上述结果证明,本文构建的胶州湾叶绿素 *a* 浓度遥感反演模型具有较好的反演精度,可以为后续研究提供准确的数据支持。

表1 数据获取时间统计
Tab.1 Statistics of data acquisition time

数据类型	采集/成像时间					
叶绿素 <i>a</i> 浓度实测数据	1999/11/09	2005/11/17	2008/12/11	2009/07/15	2010/12/17	2013/08/19
海表面温度数据	2002/09/22	2003/09/25	2005/09/22	2007/10/20	2008/10/02	2009/09/09
	2010/09/12	2011/09/23	2013/10/06	2015/09/10		
叶绿素 <i>a</i> 浓度反演影像	1986/09/18	1987/10/07	1992/09/18	2000/09/08	2001/09/27	2002/09/22
	2003/09/25	2005/09/22	2007/10/20	2008/10/02	2009/09/09	2010/09/12
	2011/09/23	2013/10/06	2015/09/10			
土地利用分类影像	1986/09/18	1992/09/18	2000/09/08	2009/09/09	2015/09/26	

表2 叶绿素 *a* 遥感反演模型比较
Tab.2 Comparison of chlorophyll *a* remote sensing retrieval models

X_1	X_2	模型	相关系数	标准误差	平均相对误差/%
B2		$Y = -6.28170X_1^2 + 846.40X_1 - 24.96$ ^[12]	0.52	0.936	87.6
B4		$Y = -14.137X_1^2 + 946.46X_1 - 12.47$ ^[13]	0.47	0.881	77.6
B4/B3		$Y = -6.69X_1 + 7.22$ (本文)	0.83	0.537	40.5
B3/B1		$Y = 4.69X_1 - 0.73$ ^[15]	0.20	1.237	153.1
B2/B1	B1/B3	$Y = -15.42X_1 - 3.34X_2 + 23.50$ ^[7]	0.80	1.123	126.2

2.3 土地利用分类与景观格局指数

利用 ArcGIS 10.1 对预处理后的 Landsat 遥感影像进行人工目视解译和数字化,并结合实地调查,将研究区域土地利用类型分为林地、城镇用地、耕地、水域、未利用土地和养殖区等6类^[16]。选用决策树分类方法对胶州湾流域土地利用类型进行分类,其中主要的决策因子包括: B3/B5、B3/B4、DEM、归一化植被指数、归一化建筑指数、坡度及纹理特征数据等^[17]。利用2015年9月22日的1景与Landsat准同步的Quickbird高空间分辨率影像对分类结果进行了精度验证,在影像中随机选取了256个像元,经混淆矩阵计算,用户精度大于75%,Kappa系数为0.81,基本符

合分类精度的要求^[18]。在上述土地利用类型分类的基础上,使用Fragstats 4.1软件计算了8种常用的景观格局指数分布特征,包括拼块类型面积、拼块数量、拼块密度、最大拼块占景观面积比例、边缘密度、景观形状指数、香农多样性指数、聚合度指数。

3 结果与讨论

3.1 胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度反演结果

图2为1986—2015年间胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度的时空分布情况。由于部分年份大沽河河口处受到砂质底部高反射的影响,无法得到有效反演结果,故部分河口浅水区做掩膜处理,导致胶州湾海域每年

的边界略有不同。如图 2 所示,30 年来胶州湾秋季叶绿素 a 浓度在 $0.07 \sim 8.20 \mu\text{g}/\text{L}$ 之间变化,均值为 $(3.49 \pm 0.87) \mu\text{g}/\text{L}$,以 $0.06 \mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{a})$ 的趋势小幅上

升。除 2008 年和 2009 年外,叶绿素 a 浓度空间分布规律较为相似:湾内基本呈现西北高、东南低的趋势。这一反演结果与王玉珏等^[6]的实测调查结果一致。

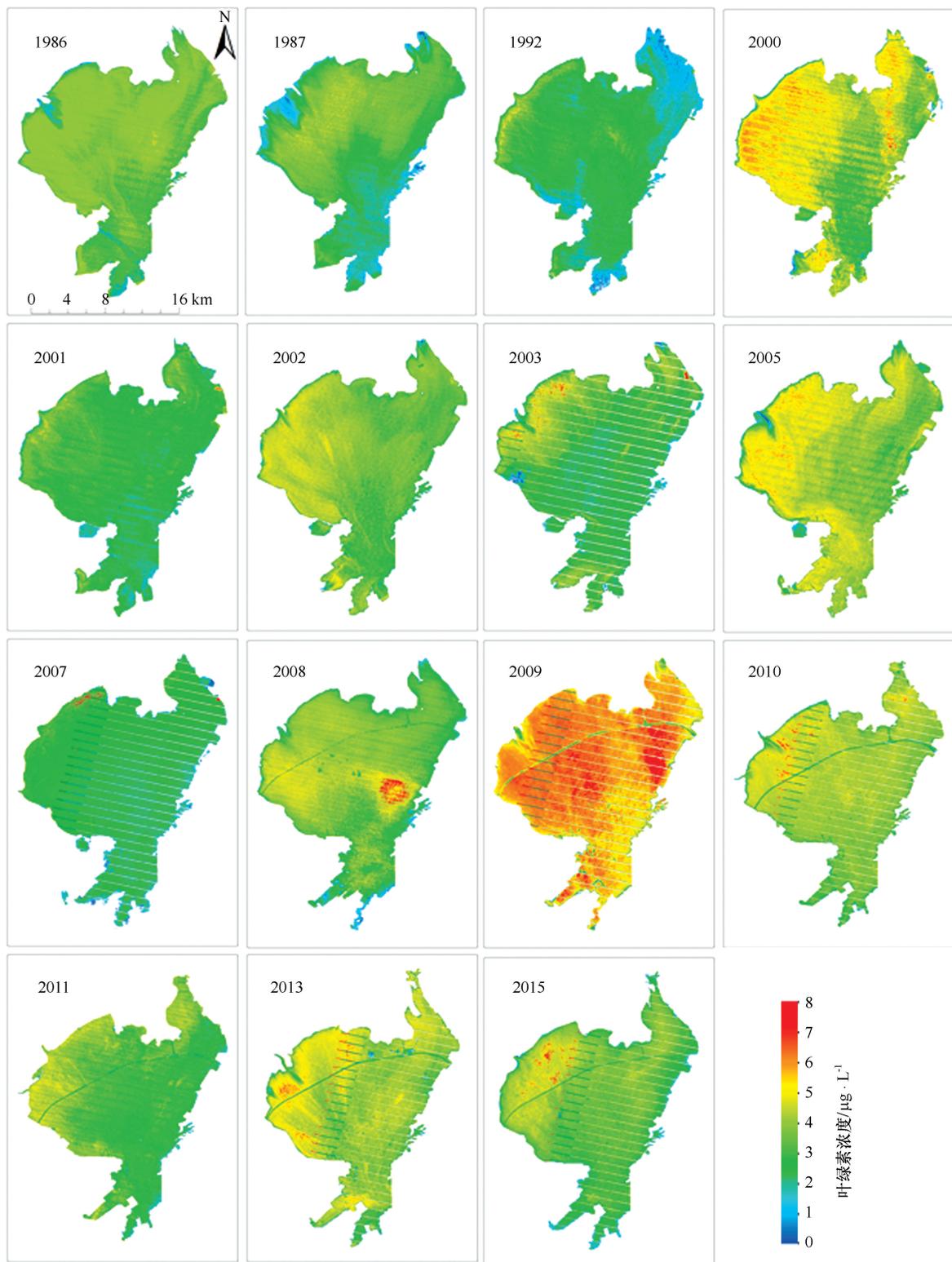


图 2 1986—2015 年胶州湾秋季叶绿素 a 浓度空间分布

Fig.2 The spatial distribution of chlorophyll a concentration of Jiaozhou Bay for 1986—2015 autumn

本文依据胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度多年均值统计结果(图 3a),参考胶州湾三大河流的入海口分布情况,以及王艳玲等^[19] 基于实测数据的胶州湾水质分区结果,最终将胶州湾大致划分为 3 个区域(图 3b)。其中区域 1 位于胶州湾西北部,主要受到大沽河和洋

河流域的径流影响;区域 2 包括胶州湾中部以及靠近墨水—白沙河入海口的部分海域;区域 3 主要为胶州湾东部沿海以及南部水道。在此基础上,本文分别统计了胶州湾及其 3 个子区域多年叶绿素 *a* 浓度的变化情况,结果如图 4 所示。

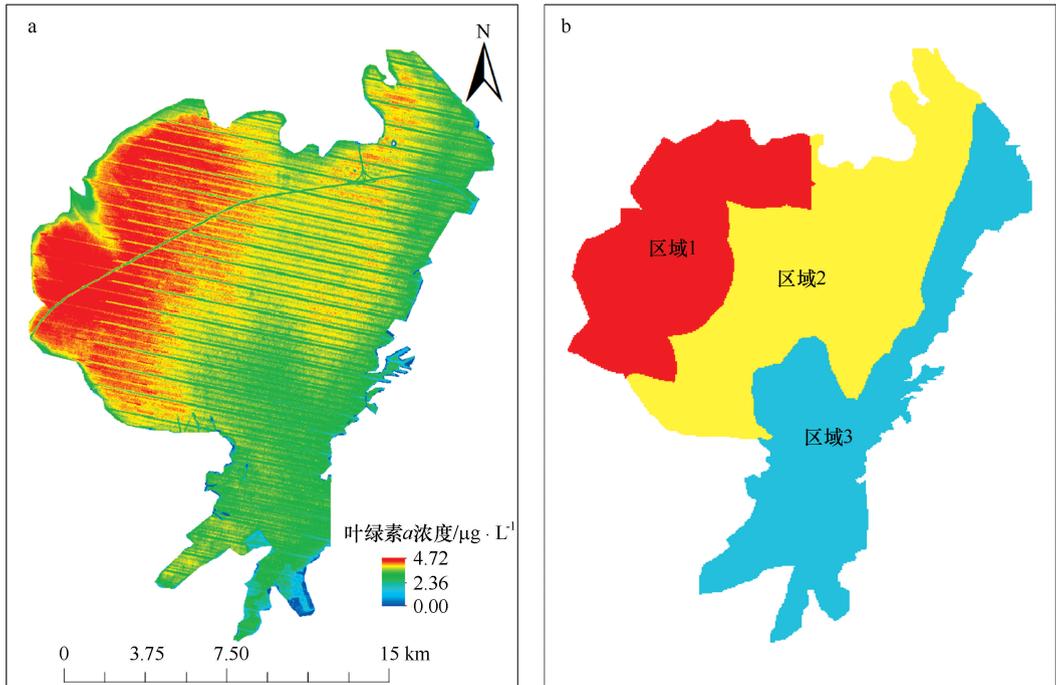


图 3 胶州湾秋季叶绿素 *a* 多年均值(a)和胶州湾分区(b)

Fig.3 The average value of chlorophyll *a* concentration of Jiaozhou Bay (a) and Jiaozhou Bay partition (b)

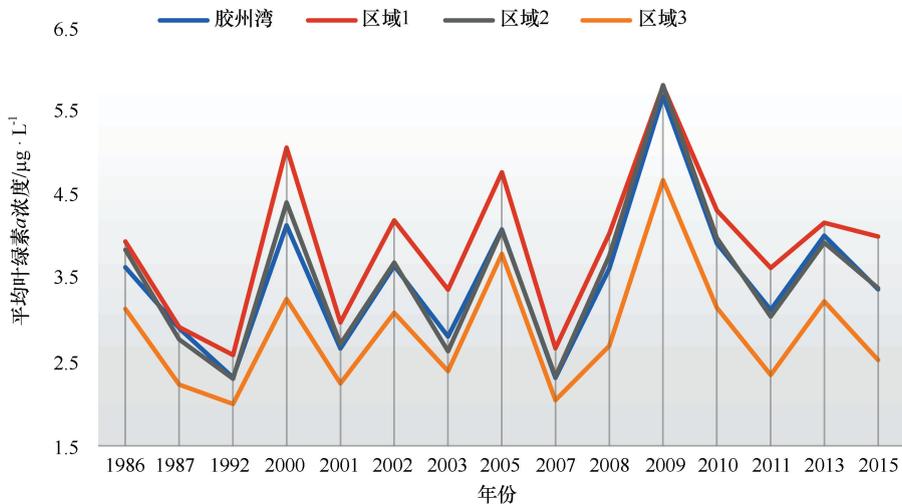


图 4 1986—2015 年胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度平均值

Fig.4 Chlorophyll *a* concentration of Jiaozhou Bay for 1986—2015 autumn

由图 2 和图 4 可知,总体而言,胶州湾 3 个子区

域叶绿素 *a* 浓度的变化规律基本一致,具有明显的波

动性。其中与外海相连的区域 3 叶绿素 *a* 浓度始终低于区域 1 和区域 2; 一般情况下, 区域 1 叶绿素 *a* 浓度高于区域 2。但 2008—2010 年间区域 2 的叶绿素 *a* 浓度明显上升, 2009 年的均值达到 $5.82 \mu\text{g/L}$ 并超过了区域 1。此外整个胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度均值也在 2009 年达到最大值 $5.69 \mu\text{g/L}$ 。

3.2 影响因素分析

研究表明, 海域内叶绿素 *a* 浓度主要受到海表面温度、营养盐结构、人类活动等因素的影响^[6], 因此本文借助遥感探测手段, 从自然环境和人类活动两方面对胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度时空分布的影响因素进行分析。

3.2.1 海表面温度

本文获取的 2002—2015 年间胶州湾秋季海表面温度在 $6.88 \sim 11.11^\circ\text{C}$ 之间变化, 平均值为 $(9.71 \pm 1.22)^\circ\text{C}$ 。将对应时间的胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度反演结果与海表面温度数据做回归分析发现, 二者之间存在较好的相关关系, 相关系数 r 为 0.71。由此可知, 海表面温度是影响胶州湾叶绿素 *a* 浓度分布的主要因素之一, 与王玉珏等^[6]的研究结果一致。

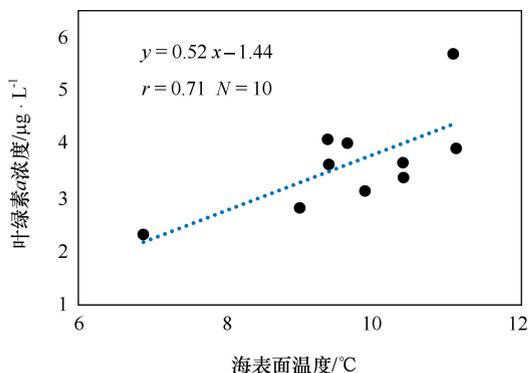


图 5 海表面温度与叶绿素 *a* 浓度关系

Fig.5 Correlation between sea surface temperature and chlorophyll *a* concentration

3.2.2 人类活动

由 3.1 节胶州湾叶绿素 *a* 浓度的时空分布可知, 靠近主要河流入海口的近岸区域 1 和区域 2 的叶绿素 *a* 浓度始终高于与外海相连通的区域 3; 而跨海大桥修建期间(2008—2010 年), 区域 2 的叶绿素 *a* 浓度有明显升高。由此可见, 人类活动对胶州湾叶绿素 *a* 浓度的时空变化有着重要影响, 而土地利用和景观格局的变化是人类改造自然环境最直观的体现。利用 2.3 节中的提取方法, 本文得到了 1986—2015 年胶州

湾流域土地利用类型分类结果, 并在此基础上计算对应时间段的景观格局指数。通过分析发现, 胶州湾流域养殖区的景观格局指数与胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度变化密切相关。叶绿素 *a* 浓度与流域内养殖区的边缘密度和拼块数量均呈现明显的正相关关系, 特别是边缘密度, 二者的相关系数 r 为 0.82(表 3)。结合前文中对胶州湾子流域的划分和胶州湾海域的分区结果发现, 区域 1 叶绿素 *a* 浓度与其靠近的大沽河和洋河流域内养殖区边缘密度的相关关系更为紧密; 而区域 2 叶绿素 *a* 浓度与其靠近的墨水河—白沙河流域内养殖区的各项景观指数相关性不强。经统计, 胶州湾有 62% 的养殖区位于大沽河和洋河流域。由此可知, 养殖区的破碎化程度对胶州湾海域的叶绿素 *a* 浓度变化有重要影响, 并且养殖区面积越大, 其对应的海域叶绿素 *a* 浓度受到的影响越显著。

表 3 叶绿素 *a* 浓度与养殖区景观指数的相关系数

Tab.3 Correlated coefficients between chlorophyll *a* concentration and landscape index of aquaculture area

区域	边缘密度	拼块密度
胶州湾	0.82	0.56
区域 1	0.88	0.75
区域 2	0.54	0.55

在 3.1 节的分析中发现, 胶州湾跨海大桥主要施工建设期间(2008—2010 年)区域 2 的叶绿素 *a* 浓度明显上升, 2009 年达到 $5.82 \mu\text{g/L}$ 并超过了区域 1, 直到跨海大桥基本竣工的 2010 年, 区域 2 的叶绿素 *a* 浓度才回落至先前水平。此外整个胶州湾海域叶绿素 *a* 浓度也在 2009 年达到了最大值。经统计, 大桥修建前胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度均值为 $3.17 \mu\text{g/L}$, 大桥修建后叶绿素 *a* 浓度均值为 $3.96 \mu\text{g/L}$, 其中大桥修建期间叶绿素 *a* 浓度均值为 $4.41 \mu\text{g/L}$, 有增大趋势。已有研究表明, 胶州湾跨海大桥的修建对胶州湾海域的水动力条件产生了影响^[4], 并进一步影响了胶州湾冬季的海冰时空分布规律^[11]。由此推测, 修建跨海大桥引起的胶州湾水动力条件的改变, 可能对海湾内叶绿素 *a* 浓度的分布情况也产生了影响。

4 结论

本文基于长时序遥感影像研究了 1986—2015 年 30 年间的胶州湾秋季叶绿素 *a* 浓度的时空分布规

律,并从自然因素和人类活动两方面对胶州湾叶绿素 a 浓度时空分布的影响因素进行分析,得到以下结论:

(1)30年来胶州湾秋季叶绿素 a 浓度的空间分布规律稳定,基本呈现西北高东南低的特点;

(2)海域内秋季叶绿素 a 浓度年均值呈波动略有上升的趋势,最高值出现在2009年;

(3)胶州湾秋季叶绿素 a 浓度与海表面温度密切相关,并且受到近海养殖区破碎化程度、大型人工设施修建等人类活动的影响。

参考文献:

- [1] Song Zhaoun, Gong Liming, Chen Qiao, et al. Influence on the environment of the coastal area in Jiaozhou Bay of China[J]. Environmental Engineering and Management Journal, 2015, 14(8): 1897-1903.
- [2] Zhao Ke, Qiao Lulu, Shi Jinghao, et al. Evolution of sedimentary dynamic environment in the western Jiaozhou Bay, Qingdao, China in the last 30 years[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2015, 163: 244-253.
- [3] Yang Shilun, Meng Yi, Zhang Jing, et al. Suspended particulate matter in Jiaozhou Bay: properties and variations in response to hydrodynamics and pollution[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(1): 91-97.
- [4] 张莞君, 迟万清, 胡泽建, 等. 青岛胶州湾大桥建设对周边海域水动力环境影响的数值研究[J]. 海岸工程, 2015, 34(2): 40-50.
Zhang Wanjun, Chi Wanqing, Hu Zejian, et al. Numerical study on the effect of the Jiaozhou Bay bridge construction on the hydrodynamic conditions in the surrounding sea area[J]. Coastal Engineering, 2015, 34(2): 40-50.
- [5] 孙晓霞, 孙松, 张永山, 等. 胶州湾叶绿素 a 及初级生产力的长期变化[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(5): 654-661.
Sun Xiaoxia, Sun Song, Zhang Yongshan, et al. Long-term changes of chlorophyll- a concentration and primary productivity in the Jiaozhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(5): 654-661.
- [6] 王玉珏, 刘哲, 张永, 等. 2010-2011年胶州湾叶绿素 a 与环境因子的时空变化特征[J]. 海洋学报, 2015, 37(4): 103-116.
Wang Yujue, Liu Zhe, Zhang Yong, et al. Temporal and spatial variations of chlorophyll a and environmental factors in Jiaozhou Bay in 2010-2011[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(4): 103-116.
- [7] 黄薇. 胶州湾叶绿素 a 浓度遥感产品检验与反演算法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
Huang Wei. MERIS chlorophyll- a concentration product validation and researching on the inversion algorithm of chlorophyll- a concentration for the Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [8] 刘晓燕, 杨倩, 周燕. 基于 MODIS/Aqua 的胶州湾及青岛近海叶绿素 a 浓度年变化特征分析[J]. 海洋技术学报, 2015, 34(6): 65-69.
Liu Xiaoyan, Yang Qian, Zhou Yan. Analysis on the annual change characteristics of chlorophyll- a concentration in the Jiaozhou Bay and Qingdao coastal area based on MODIS/Aqua[J]. Journal of Ocean Technology, 2015, 34(6): 65-69.
- [9] Vanhellemont Q, Ruddick K. Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing: examples from Landsat-8[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 161: 89-106.
- [10] Vanhellemont Q, Ruddick K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 145: 105-115.
- [11] Huang Jue, Guo Lianjie, Jiang Tao, et al. Three decades of sea-ice variability in Jiaozhou Bay revealed by Landsat observations[J]. Journal of Ocean University of China, 2019, 18(1): 1-9.
- [12] 邬明权, 韩松, 赵永清, 等. 应用 Landsat TM 影像估算渤海叶绿素 a 和总悬浮物浓度[J]. 遥感信息, 2012, 27(4): 91-95.
Wu Mingquan, Han Song, Zhao Yongqing, et al. Quantitative estimation of chlorophyll- a and total suspended matter concentration with Landsat TM[J]. Remote Sensing Information, 2012, 27(4): 91-95.
- [13] 黄灵光, 方豫, 张大文, 等. 基于 Landsat-8 OLI 的鄱阳湖叶绿素 a 浓度定量反演[J]. 江西科学, 2016, 34(4): 441-444, 456.
Huang Lingguang, Fang Yu, Zhang Dawen, et al. Quantitative retrieval of chlorophyll a concentration based on Landsat-8 OLI in the lakes[J]. Jiangxi Science, 2016, 34(4): 441-444, 456.
- [14] 谷俊鹏, 裴亮. 基于 landsat8-OLI/TIRS 和 HJ-1B 太湖叶绿素含量和温度反演研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(5): 146-151, 156.
Gu Junpeng, Pei Liang. Retrieval of chlorophyll content and temperature in Taihu based on landsat 8-OLI/TIRS and HJ-1B[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2017, 40(5): 146-151, 156.
- [15] 马荣华, 戴锦芳. 结合 Landsat ETM 与实测光谱估测太湖叶绿素及悬浮物含量[J]. 湖泊科学, 2005, 17(2): 97-103.
Ma Ronghua, Dai Jinfang. Quantitative estimation of chlorophyll- a and total suspended matter concentration with Landsat ETM based on field spectral features of Lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(2): 97-103.
- [16] 赵鹏, 夏北成, 秦建桥, 等. 流域景观格局与河流水质的多变量相关分析[J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2331-2341.
Zhao Peng, Xia Beicheng, Qin Jianqiao, et al. Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2331-2341.
- [17] 李振, 黄海军. 胶州湾海岸带土地利用/覆被变化研究[J]. 国土资源遥感, 2010(4): 71-76.
Li Zhen, Huang Haijun. Land use and land cover change of the coastal zone around Jiaozhou Bay[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010(4): 71-76.

- [18] 韩凌云. 苏州市水岸带景观格局演变研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
Han Lingyun. The evolution on landscape pattern of riparian zones in Suzhou City[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012.
- [19] 王艳玲, 安文超, 许颖. 胶州湾海域水质现状评价[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(9): 164–167.
Wang Yanling, An Wenchao, Xu Ying. Present status and environmental assessment on water quality of Jiaozhou Bay[J]. Environmental Science and Management, 2011, 36(9): 164–167.

Study on variation in chlorophyll *a* concentration and its influencing factors of Jiaozhou Bay in autumn based on long term remote sensing images

Yang Guangpu¹, Jiang Tao¹, Zhao Yongfang², Huang Jue¹

(1. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2. Jiao Zhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: The concentration of chlorophyll *a* in water is an important indicator for study in phytoplankton biomass and primary productivity. Therefore, the long-term monitoring of chlorophyll *a* in the estuary area has important ecological significance. Remote sensing technology can obtain large-scale observation results of long time series. Using Landsat TM/ETM+ remote sensing images from 1986 to 2015, we constructed a quantitative inversion model based on field measured data and obtained the spatial-temporal distribution of chlorophyll *a* concentration in Jiaozhou Bay over the past 30 years. The variation pattern of chlorophyll *a* is stable; chlorophyll *a* is higher in the northwest and lower in the southeast. The mean value of chlorophyll *a* concentration shows a slight upward trend. Taking advantage of sea surface temperature, land use classification and landscape pattern index retrieved from remote sensing images, the influence factors of spatial-temporal distribution of chlorophyll *a* concentration of Jiaozhou Bay are analyzed. The chlorophyll *a* concentration is closely related to the sea surface temperature. In addition, it is also influenced by human factors, such as the landscape pattern index of aquaculture area and construction of large artificial facilities.

Key words: chlorophyll *a*; spatial-temporal distribution; remote sensing quantitative inversion; land use change; landscape pattern