

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20180710.001

辛蕾, 丁一, 王宁, 等. 基于遥感的黄海绿潮覆盖面积受表层温盐的影响分析[J]. 广西科学院学报, 2018, 34(3): 210-215.
XIN L, DING Y, WANG N, et al. Effect on green tide coverage area in the Yellow Sea by surface water temperature and salinity based on remote sensing[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2018, 34(3): 210-215.

基于遥感的黄海绿潮覆盖面积受表层温盐的影响分析*

Effect on Green Tide Coverage Area in the Yellow Sea by Surface Water Temperature and Salinity based on Remote Sensing

辛蕾**, 丁一, 王宁, 卢博, 黄蕊, 葛勇

XIN Lei, DING Yi, WANG Ning, LU Bo, HUANG Rui, GE Yong

(山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 国家海洋局北海预报中心, 山东青岛 266061)
(Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266061, China)

摘要:【目的】研究黄海绿潮生长发展环境影响因素。【方法】利用2014—2017年卫星遥感影像提取黄海绿潮覆盖面积,并与同期浮标温度数据对比分析。【结果】绿潮的生命周期有“发生—发展—暴发—衰落—消亡”5个阶段。绿潮的覆盖面积变化随所发生海域的表层水温的升高呈现先上升后下降的走势,在约22℃时绿潮覆盖面积达到最大,其后随着温度上升绿潮逐渐衰亡;与同期浮标盐度数据比较发现,前半期盐度基本稳定在31.5‰,绿潮该段时期内逐渐发展达到最大,之后随着盐度降低绿潮逐渐衰亡。【结论】研究结果与已有实验室研究获得结论基本吻合,可为绿潮灾害防灾预警提供一定参考。

关键词: 绿潮 遥感 覆盖面积 海表温盐

中图分类号: X83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2018)03-0210-06

Abstract:【Objective】To study the environmental factors affecting the growth and development of the Yellow Sea green tide.【Methods】The coverage area of the Yellow Sea green tide was extracted by satellite remote sensing images from 2014 to 2017, and compared with the buoy temperature data of the same period.【Results】The life cycle of the green tide has five stages, which was appearance, development, burst, fading and disappearance. And the change of the coverage area of green tide presented the trend of first increasing and then decreasing with the rise of the surface water temperature in the sea area. At about 22℃, the area covered by green tide reached the maximum, and then the green tide gradually declined as

the temperature increased. Compared with the buoy salinity data of the same period, the salinity of the first half of the year was basically stable at about 31.5‰, and reached the maximum during the period of green tide, and gradually declined as the salinity decreased.【Conclu-

收稿日期: 2018-01-05

作者简介: 辛蕾(1984—),女,工程师,主要从事海洋卫星遥感监测及技术研究, E-mail: xinlei@bhj.gov.cn.

* 国家自然科学基金项目“海洋锋对 SAR 海浪成像及海浪信息反演的影响”(41376010)资助。

** 通信作者。

sion】The research results are in good agreement with the conclusions obtained from the existing laboratory research and provide some reference for the disaster prevention and early warning of green tide disasters.

Key words: green tide, remote sensing, coverage area, sea surface temperature and salinity

0 引言

【研究意义】自 2008 年中国黄海暴发大规模绿潮灾害以来,严重影响了各沿海地区人民的生产生活以及旅游业的发展,引起了相关部门的高度重视。国家海洋局以及受灾省、市的海洋主管部门每年都会投入大量人力物力进行绿潮灾害的监测、预警及治理工作中,耗资巨大。【前人研究进展】黄海绿潮的优势种为浒苔(*Ulva prolifera*)^[1],浒苔通过释放孢子和配子进行繁殖,浒苔发育过程中放散的孢子配子为绿潮大规模暴发提供了基本的生物基础^[2]。浒苔孢子体和配子体是其生活史中形态相近的藻体,孢子和配子的释放具有一定的周期性^[3]。这种周期性生长在自然环境条件与光照强度、温度等因素密切相关^[4]。浒苔孢子体/配子体在 15~35℃、60~300 μmol·m⁻²·s⁻¹(光照强度)条件下均能形成孢子囊/配子囊并放散孢子/配子。在 15~35℃ 的温度范围内,同一光照强度条件下,孢子/配子的放散量随温度的升高先增加后降低,温度为 25℃ 时,浒苔最先成熟形成孢子囊/配子囊,并且浒苔孢子/配子的放散量在此温度下也达到最大值^[5]。王翔宇等^[6]研究分析不同浓度氮磷对浒苔生长速度影响。张晓红等^[7]在实验室内设置了不同的温度梯度和盐度梯度,重点研究了绿潮藻体的生长情况、适宜环境条件等内容。卫星遥感可以全面监测绿潮分布和覆盖信息,吴孟泉等^[8]对 2008—2012 年山东半岛海域浒苔时空分布特征进行了研究,总结了山东半岛海域 5 年绿潮出现的区域、面积、范围和时间,确定分析了其时空分布状况和发展变化趋势。王宁等^[9]利用卫星遥感数据分析了 2008—2012 年各年黄海绿潮的漂移路径及分布面积特征,定性给出了绿潮的发生、发展情况。绿潮分布情况反映了绿潮的影响范围,其变化主要受拉弥尔环流影响^[10],绿潮覆盖情况则反映了绿潮的暴发规模,其变化受温盐、溶解氧及营养盐等多种因素影响。夏斌等^[11]研究分析了黄海绿潮暴发区温盐、溶解氧和营养盐的分布特征及其与绿潮发生的关系,认为绿潮灾害发生时,所处海域的水温正处于绿潮藻体生长的适应范围内。【本研究切入点】目前的研究是

总结绿潮灾害的发生情况或者对绿潮藻类生长特性的实验室研究,而对卫星遥感监测的绿潮覆盖面积与表层温盐的关系研究较少。本研究从遥感角度研究海水表层温度、盐度对绿潮覆盖面积的影响。【拟解决的关键问题】利用 2014—2017 年(每年 5—7 月)黄海海域的卫星遥感数据,按照时间序列计算提取绿潮的覆盖面积,研究其变化趋势,并与实验室对绿潮藻类的生命周期研究结果作对比,同时利用浮标实测数据表层海水的日平均温度和盐度,分析绿潮覆盖面积和表层海水的日平均温度及盐度的关系。

1 数据与方法

1.1 数据及预处理

所用卫星数据包括 2014—2017 年每年 5—7 三个月 MODIS、RADARSAT、COSMO 数据。影像技术参数列表如表 1。

表 1 卫星数据影像技术参数

Table 1 Satellite data imaging technical parameters

卫星数据 Satellite data	波段 Band	分辨率 Resolution (m)	幅宽 Swath (km)
MODIS	0.4~14 μm	250	2 330
RADARSAT	C	100	500
COSMO	X	100	30

在绿潮信息提取之前,对 MODIS 数据进行数据预处理,包括几何校正、辐射定标和大气校正。其中,大气校正采用的是 MODTRAN4+大气辐射传输模型。SAR 数据预处理包括 SAR 卫星影像几何校正、裁切和增强处理。

本研究所用同期表层水温、盐度数据来源于黄海浮标(10 m)观测获取,温度和盐度数据时间分辨率为 1 h,去除错误和无效数据,对每日逐时海表温度和盐度取平均值作为该日的温度和盐度数据。

1.2 绿潮提取方法

1.2.1 归一化差值植被指数(NDVI)阈值法

绿潮水体在可见光红光波段反射率较低,在近红外波段反射率较高,因此在利用红光和近红外波段合成的假彩色影像图上,海水常呈现黑色,绿潮水体常呈现绿色,二者具有较明显的差异。利用这一

光谱特性能够明显区分绿潮水体及正常海水^[8]。

归一化差值植被指数(NDVI)阈值法是根据绿色植物在红光波段和近红外波段的光谱响应不同建立的植被信息提取模型,计算公式如下:

$$NDVI = \frac{r_{nir} - r_r}{r_{nir} + r_r}, \quad (1)$$

式中, r_{nir} 为近红外波段的反射率, r_r 为红光波段的反射率。

1.2.2 单阈值分割法

粗糙的海平面使雷达天线发送的电磁波产生 Bragg 散射,即一部分电磁波被反射回去,被雷达天线接收,以能量值记录下来,而大部分电磁波被海面散射掉;当雷达波照射到绿潮上,绿潮覆盖区域产生强烈的散射和角反射,大量电磁波被反射回去,被雷达天线接收,这样绿潮和水体的回波信号得到的后向散射系数具有明显的差别,因此可以将绿潮信息从水体信息中提取出来^[12]。

如果一副图像的灰度直方图基本上可看作是由对应目标的单峰直方图和对应背景的单峰直方图混合构成的,那么对应目标的信息提取就可以应用单一阈值分割方法提取,一幅原始图像 $f(x, y)$ 取单阈值 T 分割后的图像可定义为

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{else } f(x, y) \leq T \end{cases}, \quad (2)$$

这样得到的 $g(x, y)$ 是一幅二维图像,它相当于把原始图像 $f(x, y)$ 用空间占有数组来进行表达^[13]。

2 结果与分析

2.1 绿潮覆盖面积随海水温度变化的时空特征

研究表明,绿潮藻类的生命周期一般会经过“发生—发展—暴发—衰落—消亡”5个阶段^[12]。初期,绿潮分布面积较小,随着温度等条件的改善,绿潮藻类开始加速增长,进入发展阶段,当生长环境达到最佳时,绿潮藻类进入生长暴发阶段,生长速度快,面积开始大范围扩展,后期由于绿潮打捞工作的开展和部分绿潮登陆以及因藻体衰老死亡、光合作用速率下降、水体泥沙等悬浮物附着等使藻体浮力发生改变而由海面表层沉降在水体表层以下,绿潮覆盖面积开始减小,最终消亡^[8-9]。

图1是2014—2017年(每年5—7月)黄海绿潮覆盖面积情况以及这期间表层水温的走势。从图1可以看出,2014—2017年(每年5—7月)期间,表层水温一路缓慢攀升,绿潮覆盖面积呈现先增长后降低的走势。对比绿潮藻类的生命周期,卫星遥感影

像监测的绿潮覆盖面积变化走势与其基本吻合(图2)。

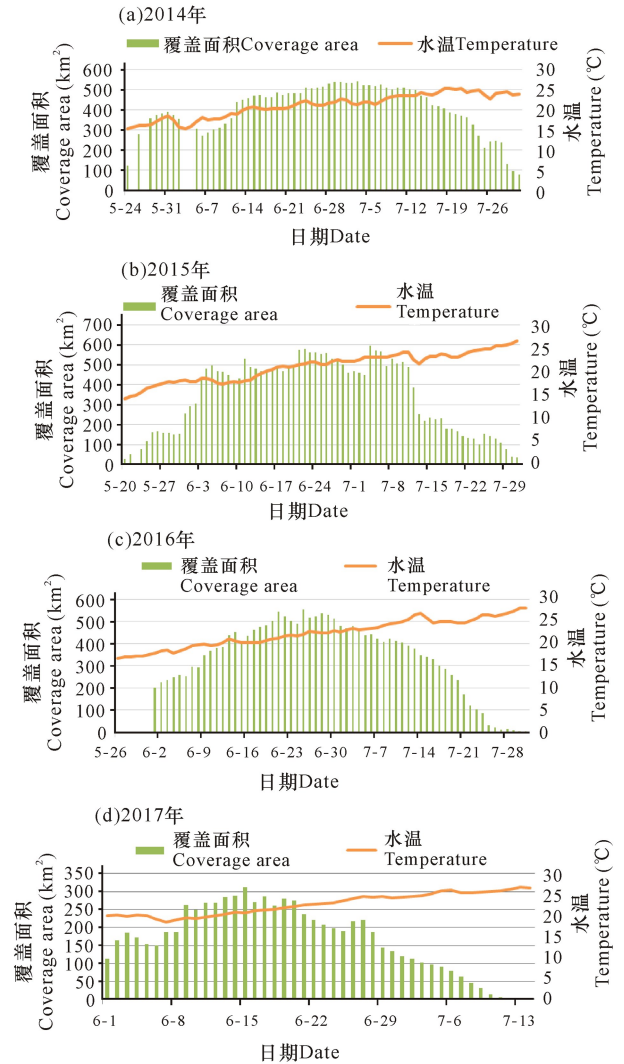


图1 黄海绿潮覆盖面积(km^2)和水温($^{\circ}\text{C}$)关系图

Fig. 1 Green tide coverage area (km^2) and sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) in the Yellow Sea

据卫星遥感监测结果显示,2017年4月8日,首次在黄海海域发现有绿潮藻类出现,随着表层水温的升高,卫星遥感监测的绿潮藻类进入发展时期,其覆盖面积也越来越大(图1d)。6月9日至6月23日前后,绿潮的覆盖面积较大,进入暴发期,表层水温 $19.5 \sim 22.8^{\circ}\text{C}$ 。此后,尽管表层水温仍然持续攀升,绿潮的覆盖却呈现下降趋势,直至卫星遥感监测不到绿潮,即进入绿潮生命周期的最后阶段——消亡阶段。张晓红等^[7]认为,在 $5 \sim 20^{\circ}\text{C}$,绿潮藻类的生长率随温度增加明显升高,但当水温升至 29°C 时,绿潮藻类的生长率却出现下降趋势。由图1d可以看出,卫星遥感监测结果与实验室研究结果相比,2017年表层水温在 $9 \sim 25^{\circ}\text{C}$,绿潮覆盖面积随温度

升高而增加,当表层水温超过 25°C 时(6月26日),绿潮覆盖面积开始下降。针对这一差异,究其原因,张晓红等^[7]的研究结果仅考虑了温盐对绿潮藻类的影响,实际上绿潮藻类的生长繁殖与温盐、溶解氧、

营养盐等环境因子都有一定关系,所以这种差异可能受其他环境因子影响。但从卫星遥感监测结果来看,绿潮藻类的覆盖面积随表层水温的升高同样呈现先上升后下降的走势。

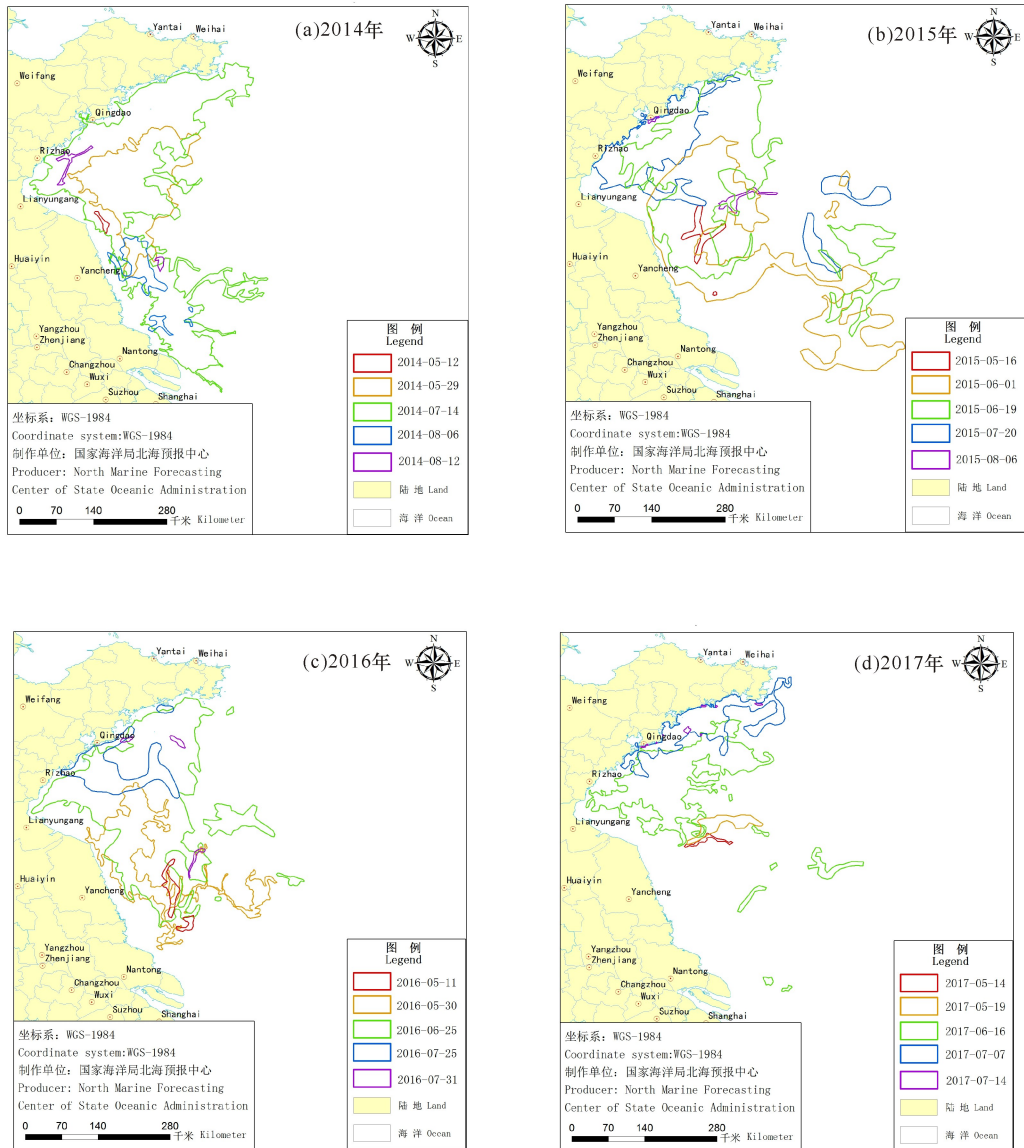


图2 2014—2017年黄海绿潮生命周期

Fig. 2 The life cycle of green tide in the Yellow Sea during 2014—2017

同理,对比2014年、2015年、2016年3年黄海绿潮的生命周期变化及其覆盖面积随表层水温的变化情况,其结果与2017年分析结果类似。

2.2 绿潮覆盖面积随海水盐度变化的时空特征

研究发现,2015—2017年每年5—7月前期,海水盐度在 $31\% \sim 32\%$,绿潮呈现长势旺盛状态;而7月份以后,海水盐度呈现下降趋势,绿潮逐渐进入衰落期(图3),这与张晓红等^[7]的实验室结果正好吻合。张晓红等^[7]的实验室研究结果认为,盐度对绿

潮藻体(浒苔)生长的影响较大,随着盐度的升高,绿潮藻体(浒苔)的生长率也在增加,低盐度下绿潮藻体生长率显著低于高盐度。

尽管有实验室研究结果可以解释绿潮覆盖面积与海水表层盐度之间的变化关系,需要提醒的是,本研究中绿潮覆盖面积的变化绝不仅仅是盐度的影响,更要结合前文中水温的影响,甚至是营养盐以及溶解氧的影响作用,在此,本研究不对营养盐和溶解氧的影响作分析。

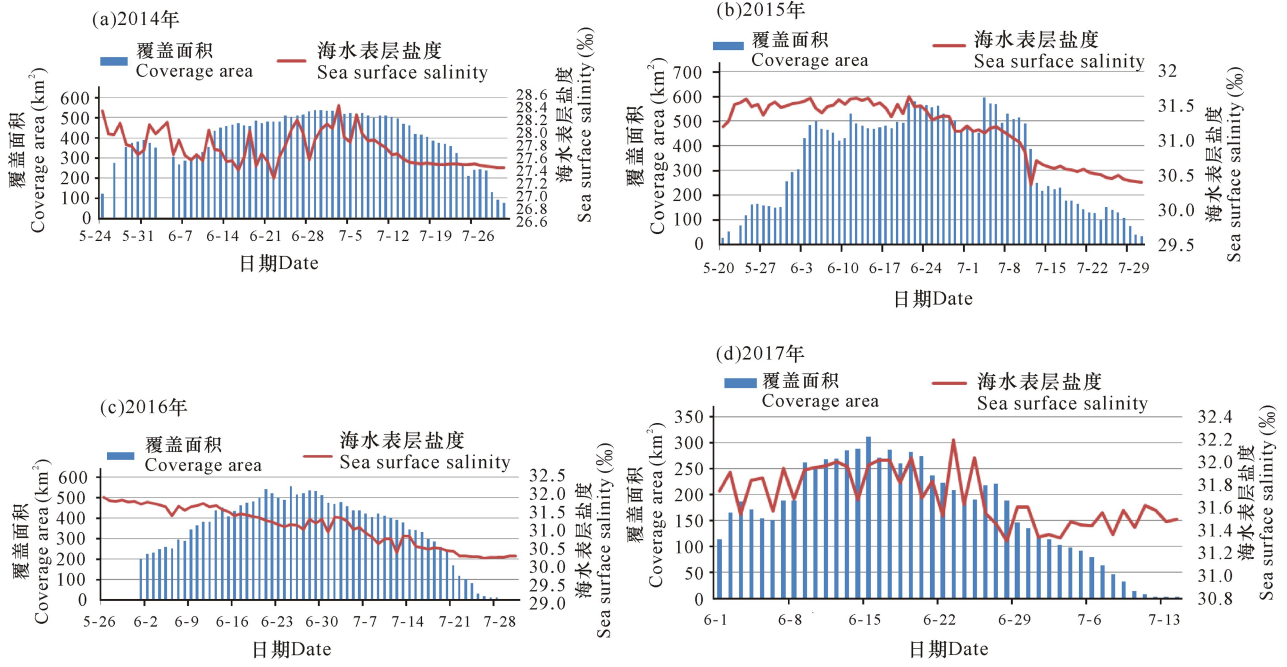


图3 2014—2017年绿潮覆盖面积(km^2)和海水表层盐度(‰)关系图

Fig. 3 The relationship between green tide coverage area(km^2) and sea surface salinity(‰) in the Yellow Sea during 2014—2017

3 结论

本研究利用卫星遥感数据,研究分析了卫星遥感监测的绿潮生命周期变化以及绿潮覆盖面积变化与表层水温及盐度之间的关系。

(1)卫星遥感监测的绿潮发展同实验室结果基本一致,同样经历“出现—发展—暴发—衰落—消亡”5个生命周期。

(2)温度是影响绿潮生理状态的重要因素之一。表层水温小于 20°C 时,卫星遥感监测的绿潮随表层水温的升高其覆盖面积随之增长,表层水温为 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$,绿潮覆盖面积达到当年绿潮覆盖面积的较高水平。随着表层水温继续上升($>25^{\circ}\text{C}$)绿潮覆盖面积呈现下降趋势,直至消亡。

(3)盐度对绿潮藻体的生长有较大影响。盐度浓度约为 31.5‰ 时,绿潮藻体生长速度较快,盐度浓度下降时,绿潮藻体同样呈现下降趋势。

参考文献:

[1] LELLAERT F,ZHANG X W, YE N, et al. Identity of the Qingdao algal bloom[J]. Phycological Research, 2009,57:147-151.
[2] 叶乃好,张晓雯,毛玉泽,等. 黄海绿潮浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 生活史的初步研究[J]. 中国水产科学, 2008,15(5):853-859.

YE N H,ZHANG X W, MAO Y Z, et al. Life history of *Enteromorpha prolifera* under laboratory conditions [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008,15(5): 853-859.
[3] CHRISTIE A O, SHAW M. Settlement experiments with zoospores *Enteromorpha intestinalis* (L.) link [J]. British Phycological Bulletin, 1968,3(3):529-534.
[4] FU G, YAO J T, LIU F L, et al. Effect of temperature and irradiance on the growth and reproduction of *Enteromorpha prolifera* J. Ag. (Chlorophyta, Chlorophyceae) [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2008,26(4):357-362.
[5] 韩红宾,韦章良,霍元子,等. 温度与光照强度对浒苔孢子/配子放散和萌发的影响[J]. 海洋渔业, 2015, 37(6):517-524.
HAN H B, WEI Z L, HUO Y Z, et al. Effects of temperature and light intensity on the release and germination of *Ulva prolifera* spores/gametes [J]. Marine Fisheries, 2015,37(6):517-524.
[6] 王翔宇,吴海一. 浒苔的营养盐吸收及生长特性研究[J]. 广西科学院学报, 2015,31(4):243-246,252.
WANG X Y, WU H Y. Nutrient uptaking and growth performance of *Ulva prolifera* [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2015,31(4):234-246,252.
[7] 张晓红,王宗灵,李瑞香,等. 不同温度盐度下浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 群体增长和生殖的显微观测[J]. 海洋科学进展, 2012,30(2):276-283.

- ZHANG X H, WANG Z L, LI R X, et al. Microscopic observation on population growth and reproduction of *Enteromorpha prolifera* under different temperature and salinity[J]. *Advances in Marine Science*, 2012, 30(2): 276-283.
- [8] 吴孟泉, 郭浩, 张安定, 等. 2008年—2012年山东半岛海域浒苔时空分布特征研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(5): 1312-1318.
- WU M Q, GUO H, ZHANG A D, et al. Research on the characteristics of *Ulva prolifera* in Shandong peninsula during 2008—2012 based on MODIS data[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2014, 34(5): 1312-1318.
- [9] 王宁, 曹丛华, 黄娟, 等. 基于遥感监测的黄海绿潮漂移路径及分布面积特征[J]. *防灾科技学院学报*, 2013, 15(4): 24-29.
- WANG N, CAO C H, HUANG J, et al. Feature analysis of green tide drift path and distribution area on the Yellow Sea based on remote sensing monitoring[J]. *Journal of Institute of Disaster Prevention*, 2013, 15(4): 24-29.
- [10] THORPE S A. Spreading of floating particles by *Langmuir circulation* [J]. *Mar Pollut Bull*, 2009, 58(12): 1787-1791.
- [11] 夏斌, 马绍赛, 崔毅, 等. 黄海绿潮(浒苔)暴发区温盐、溶解氧和营养盐的分布特征及其与绿潮发生的关系[J]. *渔业科学进展*, 2009, 30(5): 94-101.
- XIA B, MA S S, CUI Y, et al. Distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients and their relationships with green tide in *Enteromorpha prolifera* outbreak area of the Yellow Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, 30(5): 94-101.
- [12] 孙芳芳. SAR海面浒苔监测方法的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- SUN F F. Research on ocean enteromorpha prolifera monitoring with SAR data[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [13] 赵杰. 基于目标的图像分割技术研究[J]. *黄河水利职业技术学院学报*, 2005, 17(1): 28-29, 33.
- ZHAO J. Study on the technology of image segmentation in view of objects[J]. *Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute*, 2005, 17(1): 28-29, 33.

(责任编辑: 陆 雁)