

基于 Suomi NPP VIIRS 数据的黄海浒苔遥感监测研究

郭继强, 潘洁*, 刘文雅, 高晓倩, 吴辰宸 (南京林业大学, 江苏南京 210037)

摘要 [目的] 基于 Suomi NPP VIIRS 数据, 对 2016 年黄海浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 进行遥感监测, 探讨基于 NPP 影像进行黄海浒苔遥感监测的适用性和可行性。[方法] 基于 NPP 影像, 利用 NDVI 动态阈值法提取黄海浒苔面积, 获取 2016 年浒苔分布的时空特征, 并将反演结果与 MODIS 进行对比。[结果] 2016 年黄海浒苔最早发生于 5 月下旬, 6 月上旬—7 月上旬进入暴发期, 7 月下旬进入消亡期。截止 7 月 31 日共计监测到浒苔聚集现象 20 次, 浒苔持续时间约 60 d。VIIRS 数据监测到的浒苔分布面积、位置与 MODIS 数据一致性较好, 而且 VIIRS 在轨运行时间较 MODIS 更短, 光谱质量更高, 对浒苔的空间分布显示更加清晰。[结论] 基于 VIIRS 数据利用 NDVI 动态阈值法进行浒苔面积提取的方法可行。

关键词 遥感; 浒苔; Suomi NPP VIIRS; Terra/Aqua MODIS
中图分类号 X87 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)15-0063-04

Study on Remote Sensing Monitoring of *Enteromorpha prolifera* in the Yellow Sea Based on Suomi NPP VIIRS Data GUO Ji-qiang, PAN Jie, LIU Wen-ya et al (Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

Abstract [Objective] This paper monitored *Enteromorpha prolifera* in the Yellow Sea based on 2016 Suomi NPP VIIRS data and explored the feasibility and applicability of remote sensing monitoring of *Enteromorpha prolifera* based on NPP images. [Method] The method of NDVI dynamic threshold was used to analyze the spatial-temporal features of *Enteromorpha prolifera* based on NPP images. Then, the characteristics were compared with those from MODIS. [Result] *Enteromorpha prolifera* first occurred in late May in the Yellow Sea, entered the outbreak period in early June and early July, finally, entered the extinction period in late July. By the end of July 31st, we monitored the aggregation of *Enteromorpha prolifera* 20 times and the duration of *Enteromorpha prolifera* lasted for 60 days. The distribution area and location of *Enteromorpha prolifera* monitored by VIIRS data kept good consistence with that by MODIS data. Moreover, VIIRS sensor had a shorter on-orbit time and higher spectral quality compared with MODIS and the spatial distribution of *Enteromorpha prolifera* monitored by VIIRS data showed more clearly. [Conclusion] It is feasible to use the NDVI dynamic threshold method on the extraction of *Enteromorpha prolifera* area based on VIIRS data.

Key words Remote sensing; *Enteromorpha prolifera*; Suomi NPP VIIRS; Terra/Aqua MODIS

浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 是海洋中极为丰富的大型浮游藻类, 属绿藻门石莼科海洋植物^[1]。少量浒苔的聚集对海洋生态环境不会产生直接的负面作用, 但近年来, 由于全球气候变暖、水体富营养化等原因^[2], 大量浒苔繁殖于海面, 导致浒苔灾害在我国海域频频暴发, 破坏了海洋生态系统平衡, 还对沿海渔业、旅游业等发展产生严重威胁^[3], 尤其是 2008 年青岛近海海域浒苔绿潮规模性聚集直接影响了奥运会帆船比赛的正常进行^[4]。浒苔监测主要利用海上观测站、航拍、卫星遥感等方法。但浒苔范围分布广, 仅通过少量的船舶资料很难掌握大海上浒苔的分布范围及变化情况^[5]。飞机实地航测不但成本高, 同时工作量大、效率相对低下^[6]。遥感监测具有大范围、实时、动态的优势, 卫星遥感资料在调查浒苔分布状况、分析浒苔来源及移动路径、指导海上和近海沿岸打捞作业中可起到重要作用^[7-9]。

目前, Terra/Aqua MODIS、HY-1B、NOAA 等中低分辨率卫星遥感影像已成为浒苔遥感监测的主要数据源^[10], 尤其是 Terra/Aqua MODIS 数据, 自 2007 年以来为江苏南黄海浒苔遥感监测发挥了重要的作用。但 MODIS 等卫星传感器在轨运行时间较长, 部分数据质量有所降低^[11-12]。作为新型环境监测卫星, NPP 卫星在轨运行时间较短, 影像数据质量较高, VIIRS 载荷的时空分辨率与 MODIS 相近^[13-14], 为南

黄海浒苔遥感监测提供了新型的数据源, 也可开展两类传感器影像的协同应用, 提高南黄海浒苔的遥感监测能力。但目前, NPP 在国内外浒苔监测领域的应用较少^[15], 笔者利用 NDVI 动态阈值法对 2016 年南黄海近岸海域浒苔进行遥感监测研究, 并与 MODIS 监测结果进行对比, 以期对浒苔预警监测提供更有力的卫星遥感信息保障, 为南黄海污染治理提供技术支撑。

1 资料与方法

1.1 数据介绍 2011 年, 由 NASA 美国国家海洋大气管理局 (NOAA) 和美国空军共同研发, 发射了新的卫星系统 Suomi NPP (NPOESS Preparatory Project 的简称, 也有资料认为是 National Polar-orbiting Partnership 的简称)。该星上搭载了可见光红外成像辐射仪 VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)、跨轨扫描红外探测仪 CrIS (Cross Track Infrared Sounder)、先进技术微波探测器 ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder) 等技术领先的有效载荷 (下载地址 <http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome>)。VIIRS 重约 275 kg, 每 4 h 经过赤道一次, 星下点空间分辨率优于 400 m, 扫描带边缘空间分辨率约 800 m。VIIRS 可收集陆地、大气、冰层和海洋在可见光和红外波段的辐射图像, 是中分辨率成像光谱仪 MODIS 系列的拓展和性能改进^[16-18]。处理和应用 NPP 卫星数据有助于继续从太空中监测地球各类生态系统的健康状况, 对提高自身防灾减灾能力具有重要意义。

1.2 研究方法 应用 2016 年 5—7 月 NPP 影像, 利用 NDVI 动态阈值法提取黄海浒苔面积, 基于遥感反演结果对 2016

基金项目 国家自然科学基金项目 (31470579, 31100414); 江苏省高校优势学科建设工程项目。

作者简介 郭继强 (1995—), 男, 吉林白山人, 硕士研究生, 研究方向: 生态环境遥感监测。* 通讯作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事林业遥感及森林资源监测研究。

收稿日期 2018-03-06; **修回日期** 2018-03-26

年黄海浒苔面积的时空分布特征进行分析。然后,将反演结果与应用 MODIS 影像的反演结果进行对比,从数据特征、反演精度等方面分析 NPP 数据的监测效果,探讨基于 NPP 影像进行黄海浒苔遥感监测的适用性和可行性。研究技术路线如图 1 所示。

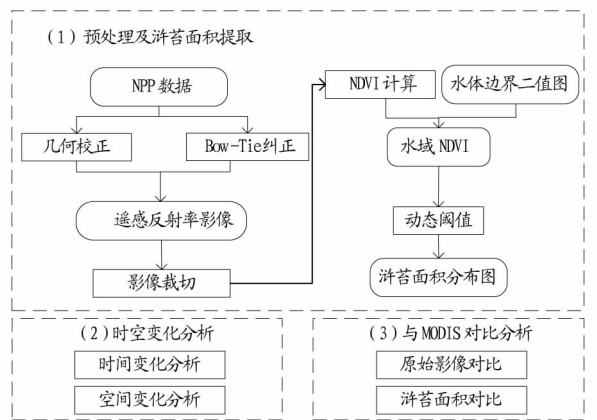


图 1 技术路线

Fig. 1 Technology roadmap

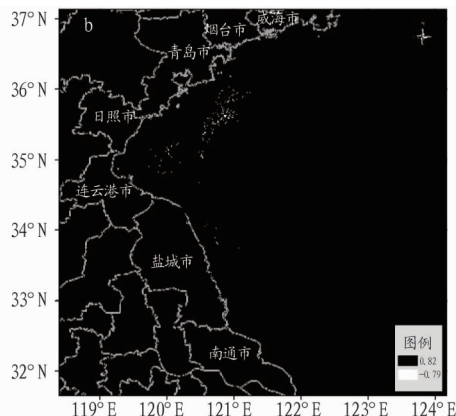
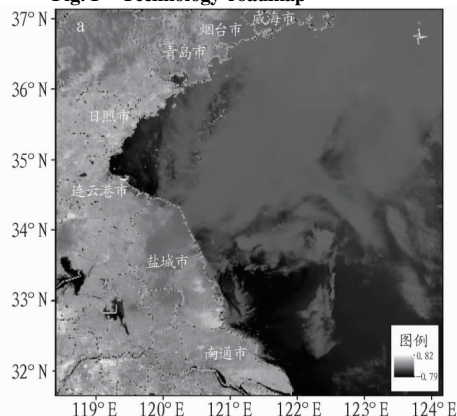


图 2 2016 年 6 月 14 日 NDVI 指数灰度(a)和二值(b)

Fig. 2 The NDVI grey-scale(a) and the binary(b) on June 14, 2016

受气象条件影响,卫星影像常会有云覆盖,由于水体光谱受到云的干扰,易造成浒苔的误判。此外,由于大气条件、浒苔密集度以及悬浮情况不同,NDVI 值有所差异。因此进行浒苔提取时,需要通过反复试验确定阈值。研究发现,对于 NPP 卫星,NDVI 阈值在 0.07~0.20 可较好地提取浒苔信息。

2.2 浒苔暴发的时空分析 基于上述动态阈值法,对 2016 年 5—7 月共计 51 幅 NPP 影像进行解译,有效掌握了黄海海域浒苔的分布特点。结果表明,因受云层覆盖影响,截止 7 月 31 日共监测到浒苔聚集现象 20 次,分布范围涉及黄海区域,浒苔持续时间约 60 d。监测期间,浒苔覆盖面积呈现先变大、后波动,最后逐渐变小的趋势,直至消亡(图 3)。

经统计分析,黄海海域最早于 5 月 19 日在盐城东部发现浒苔,面积为 3 km²,15 d 后,浒苔漂移重心向北移动至连云港以东,浒苔面积逐渐扩大。6 月中下旬,浒苔向北漂移,陆续在日照、青岛、烟台、威海以东海域登录,6 月 13 日出现最大规模浒苔暴发现象,面积为 1 132 km²,主要分布在盐城

浒苔为水生绿藻类植物,具有典型的植被光谱特征,与正常水体的反射特征相比,浒苔在近红外波段的反射率显著升高^[19-20]。因此,该研究采用植被生长监测常用的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)动态阈值法来提取浒苔分布面积。具体的提取过程为:首先,基于 ENVI5.3 遥感软件读取 NPP 数据,进行几何校正及 Bow-Tie 纠正,获取遥感反射率影像;然后基于遥感反射率影像进行 NDVI 计算和水体区域提取,得到目标区域 NDVI 影像,最终利用 NDVI 动态阈值法提取研究区浒苔面积分布。

2 结果与分析

2.1 动态阈值分析 利用预处理后的反射率数据,提取 NDVI 数值。由图 2 可知,浒苔的 NDVI 值较高,正常水体的 NDVI 值较低。因此,采用动态阈值法提取浒苔,若 NDVI > 阈值,则判定为浒苔。

统计分析 NDVI 值得出,部分水域 NDVI 值呈现正态分布,NDVI 值为 0.02 时像元个数达到峰值,大于 0.08 后像元个数较少,判断为浒苔阈值。提取 NDVI > 0.08 区域,浒苔面积为 221 km²。

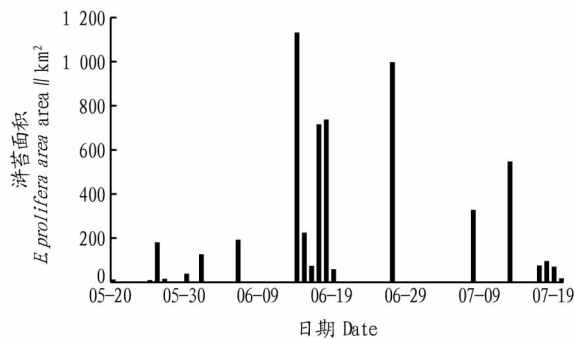


图 3 2016 年 5—7 月浒苔分布面积统计

Fig. 3 Statistic of distribution area of *E. prolifera* during May - July, 2016

东部、连云港东部、日照东部、青岛东部、烟台东部、威海东部(图 4)。直至 7 月重心移动至日照、青岛,最后一次为 7 月 19 日在青岛东部监测到浒苔,面积为 13 km²,7 月 20 日之后未监测到明显的浒苔分布,大面积的浒苔暴发结束。

2.3 NPP 与 MODIS 浒苔提取结果的对比分析 为了更好

地验证 VIIRS 数据黄海浒苔提取结果,选取 2016 年 6—7 月与 NPP 时相接近的 Terra/Aqua MODIS 数据进行对比分析。

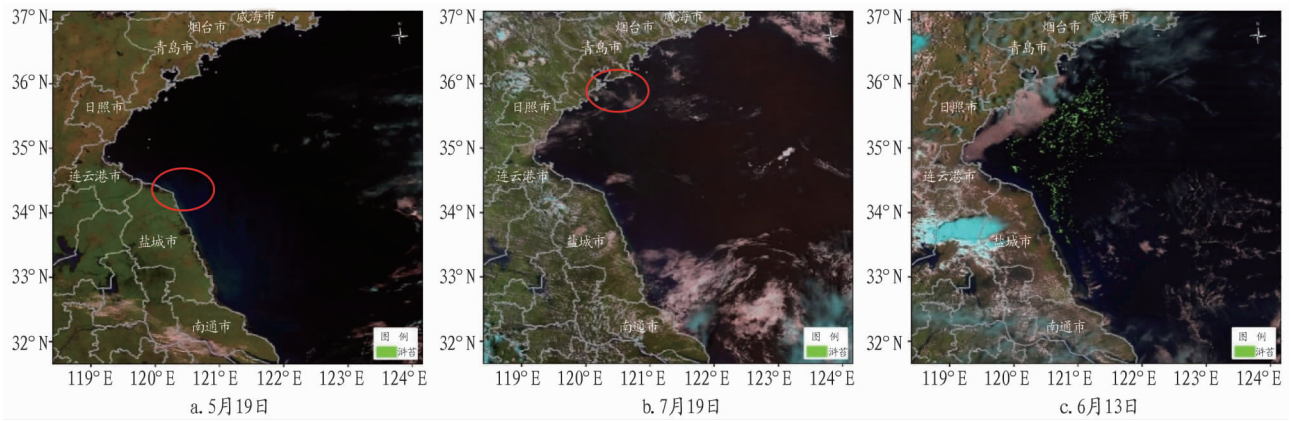


图 4 2016 年黄海浒苔最早(a)、最晚(b)、最大(c)发生面积

Fig. 4 The earliest(a), the latest(b) and the largest(c) occurrence area of *E. prolifera* in 2016

Terra/Aqua 每天可获取上下午两幅影像,分别在 10:00 和 13:00 左右,NPP 每天在 13:00 左右过境。为了进一步验证反演结果,选取过境时间相差 30 min 内的 MODIS 数据和 VIIRS 数据进行空间一致性、反演面积的对比分析(图 5)。

从图 5 可以看出,成像时间差约 30 min 的 2 个数据显示的浒苔分布区域、范围,以及积聚程度的高低等格局基本一致;MODIS 与 VIIRS 提取的浒苔面积大小之间有较好的一致性,表明基于 NPP 数据反演的浒苔结果可靠性较高。

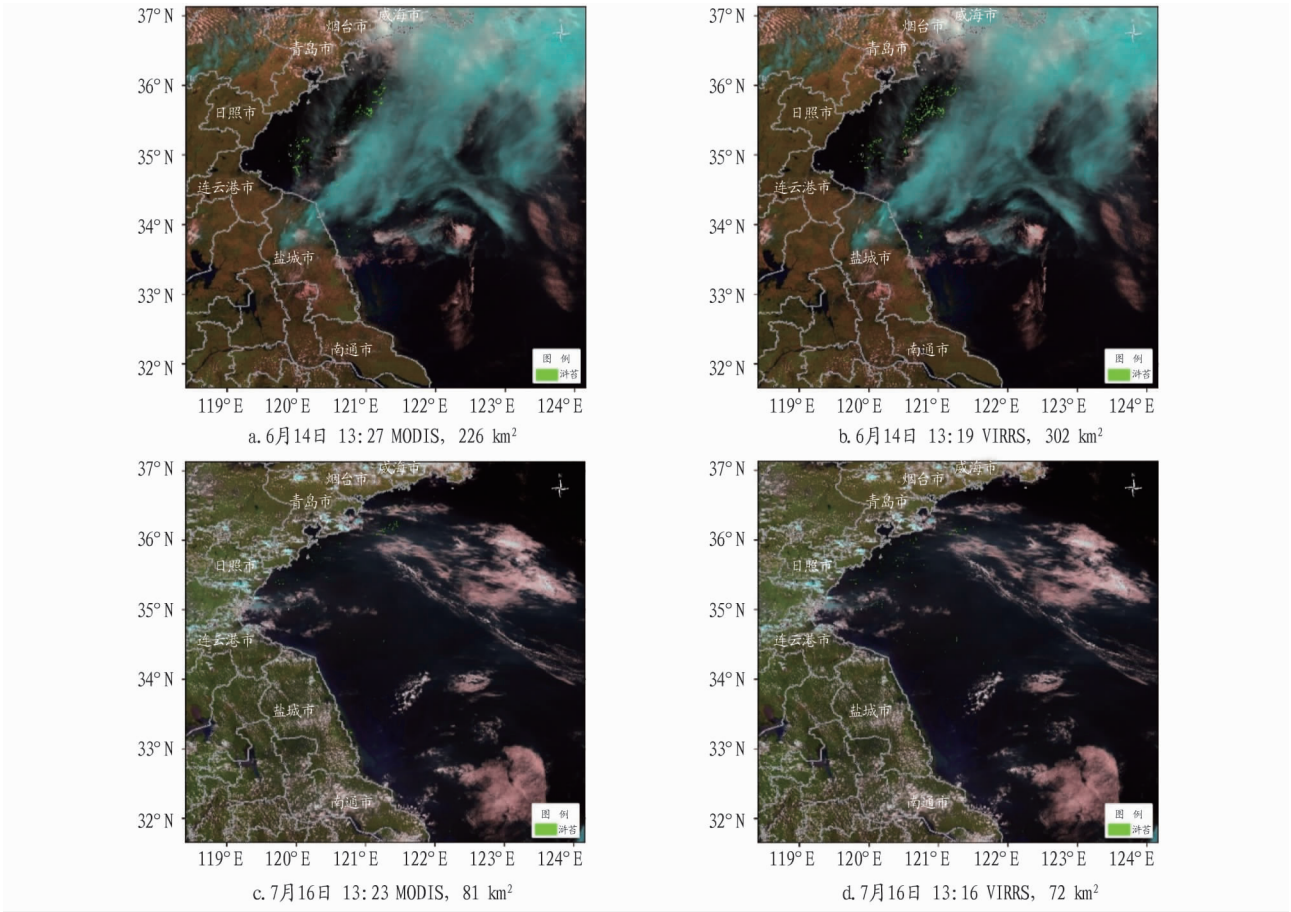


图 5 MODIS 反演结果与 NPP VIIRS 反演结果对比

Fig. 5 The comparison of MODIS inversion results and NPP VIIRS inversion results

利用 2016 年 6 月 13 日的 MODIS(空间分辨率 250 m)和 VIIRS(空间分辨率 371 m)原始遥感影像对比分析表明(图 6),由于 MODIS 在轨运行时间较长,仪器老化,光谱质量有所降低,影像条带较明显;而 VIIRS 在轨运行时间较短,光谱

质量较高,对浒苔的空间分布显示更加清晰。研究表明,基于 VIIRS 数据利用 NDVI 动态阈值法进行浒苔面积提取方法可行,技术较为成熟,因此在浒苔遥感监测工作中,可开展两类传感器影像的协同应用,提高海洋生态问题的监测识别能力。

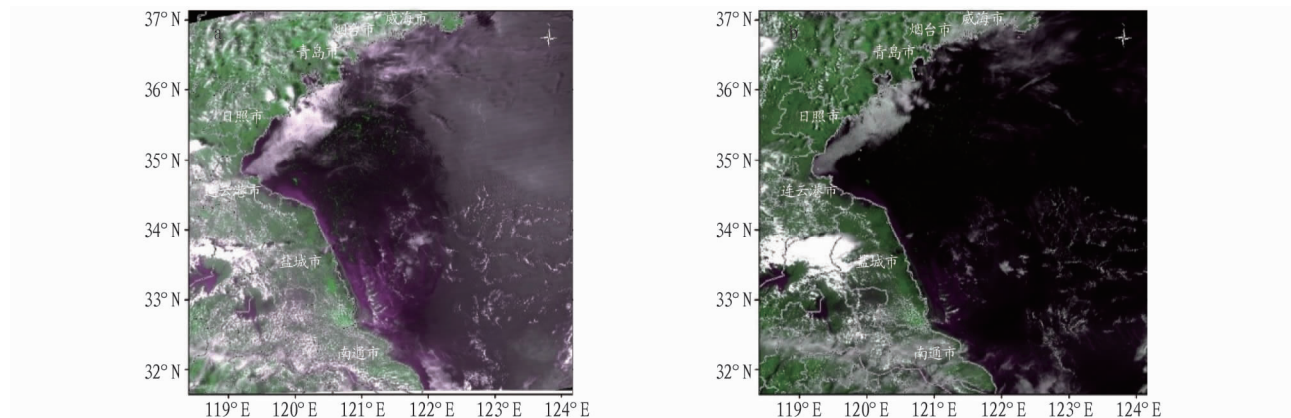


图6 2016年6月13日MODIS(a)与VIIRS(b)影像对比

Fig. 6 The comparison of the MODIS image(a) and the VIIRS image(b) on June 13, 2016

3 结论与讨论

基于2016年5—7月的Suomi NPP VIIRS卫星遥感影像,对黄海浒苔进行了动态监测,分析了浒苔暴发时空变化特征,并与MODIS数据进行对比分析。结果表明,①2016年5—7月共计监测到浒苔聚集现象20次,浒苔持续时间约60 d左右;2016年浒苔首先于5月19日在盐城东部海域发现,此后陆续在连云港、日照、青岛、烟台、威海以东海域登录;6月13日监测到最大规模浒苔聚集现象,面积为1 132 km²;最后一次为7月19日在青岛东部监测到浒苔,面积为13 km²。②VIIRS数据监测到的浒苔分布面积位置与MODIS数据一致性较好,而VIIRS影像质量明显优于MODIS数据,对浒苔的空间分布显示更加清晰。所以基于VIIRS数据的浒苔反演结果具有较高可靠性,对比MODIS数据优势明显,可作为浒苔遥感监测新的数据源。

近年来,Terra/Aqua MODIS数据成为业务化遥感监测浒苔的主要数据源,但是Terra/Aqua卫星服役时间已远远超过其设计寿命,为确保基于MODIS数据的浒苔监测业务应用模式得以连续、继承,该研究验证了基于Suomi NPP VIIRS数据反演浒苔的可行性,结果表明其可以作为接替MODIS数据的新型数据源。随着新卫星传感器的涌现,如欧洲空间局的哨兵2A、日本的葵花气象卫星等,今后需利用更多的卫星影像进行协同监测,有效地提高浒苔监测能力。此外,在加强浒苔监测的同时,应综合浒苔的生物学、生态学研究,结合海洋水色遥感、海面气象因素等,建立浒苔监测的预警系统,最大程度地减轻浒苔灾害暴发带来的社会、经济、生态影响。

参考文献

- [1] 邱亚会,卢剑波. 浒苔遥感监测研究进展[J]. 生态学报,2015,35(15): 4977-4985.
- [2] 张惠荣. 浒苔生态学研究[M]. 北京:海洋出版社,2009:92-98.
- [3] 吴传庆,马万栋,王雪蕾,等. 基于环境卫星CCD数据的黄海浒苔遥感

监测[J]. 中国环境监测,2015,31(3):161-165.

- [4] WANG X H, LI L, BAO X, et al. Economic cost of an algae bloom cleanup in China's 2008 Olympic sailing venue[J]. EOS Transactions American Geophysical Union, 2009, 90(28): 238-239.
- [5] 章志,陈艳琼,罗锋. 基于遥感技术的2014年南黄海浒苔时空分布特征研究[J]. 淮海工学院学报(自然科学版), 2016, 25(1): 80-85.
- [6] 李三妹,李亚君,董海鹰,等. 浅析卫星遥感在黄海浒苔监测中的应用[J]. 应用气象学报, 2010, 21(1): 76-82.
- [7] 孙慧,谢小平. 基于MODIS数据的日照市近海浒苔监测及影响因子分析[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(1): 144-151.
- [8] 邢前国,郑向阳,施平,等. 基于多源、多时相遥感影像的黄、东海绿潮影响区检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(6): 1644-1647.
- [9] HU C M. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans[J]. Remote sensing of environment, 2009, 113(10): 2118-2129.
- [10] 钟山,丁一,李振,等. MODIS浒苔遥感监测误差分析研究[J]. 遥感信息, 2013, 28(1): 38-42.
- [11] 李旭文,牛志春,姜晟,等. 环境监测卫星Suomi NPP业务特性及生态环境监测应用[J]. 环境监控与预警, 2014(3): 1-6.
- [12] 丁一,黄娟,崔廷伟,等. 基于NDVI与丰度关系的MODIS影像浒苔混合像元分解方法[J]. 海洋学报, 2015, 37(7): 123-131.
- [13] HUANG C, CHEN Y, WU J P, et al. An evaluation of Suomi NPP-VIIRS data for surface water detection[J]. Remote sensing letters, 2015, 6(2): 155-164.
- [14] HILLGER D, SEAMAN C, LIANG C, et al. Suomi NPP VIIRS Imagery evaluation[J]. Journal of geophysical research atmospheres, 2014, 119(11): 6440-6455.
- [15] LIAO L B, WEISS S, MILLS S, et al. Suomi NPP VIIRS day-night band on-orbit performance[J]. Journal of geophysical research atmospheres, 2013, 118(22): 12705-12718.
- [16] 李军,朱建华,韩冰,等. VIIRS在中国渤海的遥感反射率产品验证[J]. 海洋技术学报, 2016, 35(2): 27-33.
- [17] BILAL M, NAZEER M, NICHOL J E. Validation of MODIS and VIIRS derived aerosol optical depth over complex coastal waters[J]. Atmospheric research, 2017, 186: 43-50.
- [18] CAO C, XIONG J, BLONSKI S, et al. Suomi NPP VIIRS sensor data record verification, validation, and long-term performance monitoring[J]. Journal of geophysical research-atmospheres, 2013, 118(20): 11664-11678.
- [19] 樊彦国,白羽,陈潘潘,等. 青岛近海浒苔光谱特征研究[J]. 海洋科学, 2015, 39(4): 87-91.
- [20] 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.

(上接第35页)

- [2] 张荣琦,陈春环,吉万全. 高产抗病优质小麦新品种西农509的选育及稳定性分析[J]. 种子, 2014, 33(10): 100-101.
- [3] 冯家春,邓贺明. 黄淮南片“十一五”国审小麦品种品质性状分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(31): 19070-19072.
- [4] 田伟,郭振升,刘艳侠,等. 超高产条件下郑麦7698产量形成特征特性的研究[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(21): 51-53.

- [5] 赵虹,胡卫国. 2013-2014年度国家黄淮冬小麦品种试验总结[M]. 北京:中国广播电视出版社, 2014: 32-63.
- [6] 赵虹,胡卫国. 2014-2015年度国家黄淮冬小麦品种试验总结[M]. 北京:中国广播电视出版社, 2015: 20-60.
- [7] 赵虹,胡卫国. 2015-2016年度国家冬麦区黄淮南片小麦品种试验总结[M]. 北京:中国广播电视出版社, 2016: 155-183.
- [8] 季书勤,赵淑章,王绍中,等. 小麦亩产600kg综合栽培技术[J]. 河南农业科学, 1998(8): 14-15.