基于 HJ-1A/1B 的 2014 年黄海海域浒苔灾害时空分布

薛瑞,吴孟泉,刘杨,孙晓

(鲁东大学 地理与规划学院,山东 烟台 264025)

摘要:自2007年以来,黄海海域每年的5月初~8月中下旬浒苔(Ulva prolifera)会周期性地暴发与消亡, 导致海洋生态环境被破坏以及经济损失。利用2014年的HJ-1A/1B 遥感影像,利用神经网络监督分类 及RULE规则影像重分类动态阈值法,对2014年的浒苔的漂移路径、各时期影响的海域面积、分布面 积以及暴发高峰期的最大面积进行了动态监测。结果表明,2014年浒苔持续时间为101 d,5月中旬开 始在江苏省盐城市近海出现零星斑点,分布面积为2.299 km²,影响面积为1744.799 km²;6月初到6月 中旬浒苔广泛分布于黄海海域,分布面积扩大至1367.145 km²,达到当年的峰值;从6月下旬开始,浒 苔进入衰退期,浒苔分布面积、相对聚集密度均急剧缩小,但影响面积的峰值出现在该时期;8月初消 亡于青岛附近海岸,8月20日遥感影像已难以监测到浒苔的存在。2014年黄海海域浒苔经过了"出现一 发展一暴发一衰退—消亡"5个发展阶段。

关键词: 黄海; 浒苔(Ulva prolifera); 漂移路径; HJ-1A/1B 中图分类号: P76 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)07-0115-09 doi: 10.11759/hykx20150911002

浒苔(Ulva prolifera)亦称"苔条"、"苔菜",属绿 藻纲,石莼科,主要生长在温带海区的潮间带,浒苔 对海水温度、盐度、pH值和光照强度的适应范围分 别为10~30℃、7.2~35、6~9、1000~10000 lx,最适范 围分别为15~25℃、20.2~26.9、7~9、5000~6000 lx^[1-2]。 浒苔没有毒性,但由于全球气候变化、水体富营养化 等原因,大型海藻浒苔绿潮暴发,将致使阻塞航道, 破坏海洋生态系统,严重威胁沿海渔业、旅游业发 展。浒苔作为世界性的生态灾害,在我国已连续暴发 8 a,其中 2008 年浒苔大规模暴发,严重影响了奥帆 赛场的顺利进行;2009~2013 年浒苔连续 5 a 在黄海 海域暴发,对青岛、日照、烟台等地造成了不同程度的 经济损失。在国外亦有类似的大型藻类在沿岸聚集事件, 如芬兰湾^[3]、法国的大西洋海岸^[4]以及其他地域^[5]。因此 从根本上防止、治理浒苔具有重要意义。

浒苔暴发机理复杂,分布范围广,暴发的位置 随着各种因素进行漂移,难以固定检测,采取一种 更快更准对浒苔进行大规模检测的方法势在必行。 卫星遥感具有快速、宏观、连续性、大范围同步观 测的优势,成为国内外学者对浒苔预报监测的重要 途径。目前国内外在绿潮的起源与发生过程^[6]、时空 分布特征^[7]、浒苔信息提取^[8-12]等方面的研究取得了 长足的进展。邢前国^[13]等利用不同空间分辨率、多 时相卫星遥感数据,对 2007~2010 年黄海、东海发生 的绿潮进行了监测与评估; 衣立^[14]等利用 EOS 卫星 的多通道资料结合卫星遥感的海面风场、降水、云 中液态水含量、海表面温度(SST)、POM 模式模拟的 海流等资料分析了浒苔水文气象条件; 李庆亭^[15]等 通过模态航空数字相机(MADC)获得的数据资料, 为 奥帆赛区警戒水域及周边海域提供浒苔分布面积、 密集度等应急动态监测信息, 为决策部门提供了准 确的数据支持和决策依据; 乔方利等^[16]利用准业务 化中国近海海浪-潮流-环流耦合数值模式研究了在 风场和表层海流场的共同作用下浒苔的漂移路径。 由于浒苔的研究多采用 MODIS 等空间分辨率较差 的数据, 结果精度与现实相差甚远。本文采用空间分 辨率精度为 30 m的 HJ-1A/1B(CCD)遥感数据影像对 浒苔进行监测, 以期获得更精准的数据结果, 为浒 苔暴发的时期、分布规律提供帮助。

收稿日期: 2015-09-11; 修回日期: 2016-01-19

基金项目: 山东省自然基金(ZR2015DM015); 烟台市科技项目(2013ZH094); 国家自然基金(41471223)

[[]Foundation: Natural Science Foundation of Shandong, No. ZR2015DM015; Yantai Science & Technology Project, No.2013ZH094; National Science Foundation of China, No. 41471223]

作者简介: 薛瑞(1993-) 女, 山西大同人, 主要研究海洋遥感、空间分析及 3S 应用研究, E-mail: XR416917118@163.com; 吴孟泉, 通信作者, 博士, 副教授, 主要研究环境遥感、空间分析及 3S 应用研究, E-mail: irsa_wmq@163.com

1 数据源及处理

1.1 数据来源

本文采用从中国资源卫星应用中心(http://www. cresda.com/n16/index.html)下载的 2014 年 HJ-1A/

表1 数据列表

Tab. 1 Data list

1B(CCD)遥感数据,结合过去几年浒苔发生、发展、 暴发、到最终消亡的生命周期的时间,最终确定研究 时间为 5 月中旬~8 月中旬的 12 景无云或少云数据。 本文研究区范围为 119°~124°E, 32°~35°N,南至江苏 省盐城市浒苔发现地,北到山东半岛沿海城市。

时间	传感器	范围			
5月12日	HJ1B-CCD2	119°~122°E, 33°~35°N			
5月26日	HJ1A-CCD1/2	119°~121°E, 33°~37°N			
6月12日	HJ1B-CCD2	119°~122°E, 32°~36°N			
6月30日	HJ1A-CCD1/2	120°~124°E, 34°~37°N			
7月14日	HJ1B-CCD1	119°~123°E, 33°~37°N			
8月04日	HJ1A-CCD2	119°~122°E, 34°~36°N			
8月16日	HJ1A-CCD1/2	119°~121°E, 35°~37°N			

1.2 数据处理

HJ-1A/1B 数据处理主要包括数据预处理和浒苔 提取两部分(图 1)。





1.2.1 数据预处理

该实验采用扩展工具定标,完成数据定标,辐 亮度数据波段组合,以及读取头文件3个过程。为了 消除大气和光照等因素对地物反射的影响,获得地 物反射率、辐射率或者地表温度等真实物理模型参 数,对影像进行 FLASSH 模块大气校正处理。

1.2.2 浒苔信息提取方法

浒苔在可见光波段(b1、b2、b3)反射率较低,在 近红外(b4)波段反射率较高;水体在蓝绿光波段的 反射率相对较高,近红外波段反射率近乎为0。因此 利用 NIR、R、G 合成伪彩色图像,使浒苔和海水背 景区分明显,增强浒苔信息。众多学者利用自然海水 表面和浒苔覆盖海水表面光谱特征的差异,通常会 采用单波段阈值分割法^[17]、双波段比值法^[18]、归一 化植被指数法^[19]、浮游植物指数法^[20]、归一化藻类 指数法^[21]及辐射传输模型法^[22]等提取浒苔。

本文就目前应用最广泛的方法,即归一化植被 指数法与神经网络监督分类方法,进行了多次比较。 实验结果发现,由于 HJ-1A/1B(CCD)影像的噪声严 重,利用归一化植被指数阈值法提取浒苔时,波段 严重受到噪声的影响,提取的浒苔中存在部分噪点, 严重影响提取精度。神经网络具有良好的非线性特 点,可自适应调整滤波器的窗口大小和滤波器参数, 对消除图像的混合噪声、保护图像的边缘信息具有 明显的效果^[23]。神经网络监督分类是通过计算机模 拟人脑的结构,用许多小的处理单元模拟生物的神 经元,用算法实现人脑的识别、记忆、思考过程,应 用于图像分类^[24]的遥感图像监督分类方法比较研究, 不需要进行波段运算,精度明显增加,最终决定采 用神经网络监督分类方法提取浒苔(图 2)。

在训练阶段,对输入影像中已知的地物(包括浒 苔、非浒苔)建立训练样区。然后,采集每个训练样 区中每个像元的光谱信息,并送入神经网络的输入



图 2 去噪之前(a)和去噪之后(b)的研究区 HJ-1CCD 影像 Fig. 2 HJ-1CCD images (a) before and (b) after denoising 白色: 浒苔 white mass: Ulva. prolifera

层。因对两种地物分类,故选取输入节点数 *M*=2,输 出节点数 *K*=2,隐节点数 *H*=2,训练阈值和权值为 0.9,将两类遥感图像样本进行逐个输入神经网络往 复训练,训练1000次后,直到精度 RMS 0.01时停 止训练。得到分类后的图像以及规则图像。因为每 幅规则图像代表与该 ROI 类的相似度,相似度越高 亮度越大,根据这一特性对规则图像中浒苔类的灰 度图像进行重分类,结合阈值分割法对浒苔信息进 行重新提取。为尽可能地不漏掉浒苔信息,需要设置 动态阈值,如表 2。

表 2 RULE 规则影像重分类动态阈值

Tab. 2Dynamic thresholds for image reclassification in
RULE

时间	阈值
5月26日	0.1
6月12日	0.12
6月30日	0.1
7月14日	0.13
8月4日	0.096

通过阈值法对浒苔进行提取后,将得到的二值 图与原影像进行叠加,检验浒苔提取的精确度。最后 将结果图像导入到 ArcMap 中,进行栅矢转化,统计 浒苔分布面积、影像面积、相对聚集密度以及各个 时期浒苔的分布重心,研究其漂移路径。

2 结果与分析

2.1 浒苔的时空分布

由于黄海上空云量的影响,能够监测到浒苔的天数有限,我们从中选取了从浒苔出现、发展、暴发、衰退、消亡 5 个阶段(5 月 12 日~8 月 20 日)为期 3 个多月

的7个时期影像进行研究。浒苔时空分布图如图3。

2.1.1 浒苔的分布面积

应用 ArcMap 的 Statistic 功能对每一时相提取的 浒苔实际分布范围进行统计,即为对应时相的浒苔 分布面积;利用 ArcGIS 的 Mean Center 工具找出各 时相浒苔的中心位置,以此代表该时相浒苔的漂移 重心,根据相邻两个时相重心的距离 L,计算得到浒 苔漂移的速度。漂移速度 *V=L/d*,其中 *d* 为两相邻时 相的间隔时间。

对浒苔的分布情况分析发现,5月12日在江苏省 盐城市与连云港交界处近海岸出现零星斑点、分布 面积仅为 2.299 km²; 5 月下旬浒苔以平均 30.5 km/d 的迁移速度, 向北生长繁殖, 外缘最近距离青岛与日照 海域东部海岸 116 km、分布面积增加到 154.895 km²。 6月12日从山东半岛的海阳市到盐城市与南通市交 界处都有浒苔存在、纵向跨度达到 324 km、浒苔面 积扩大至 1 367.145 km²,达到峰值。6 月中旬浒苔开 始衰退,6月30日浒苔继续向北向东迁移延伸到威海 东南海岸附近, 浒苔面积减少至 523.165 km², 递减速率 为 46.89 km²/d; 7 月 14 日, 浒苔面积缩减至 200.086 km² 并逐渐向烟威及青岛海岸靠近。8 月初, 浒苔剩余 35.459 km², 整体集中在距青岛海岸 30 km 左右范 围。利用 HJ-1A/1B 30 m×30 m 的分辨率优势可以探 究浒苔真正消亡的时间, 所以我们把研究日期扩展 到了 8 月 16 日、当日浒苔面积仅有 1.376 km²。根据 这一研究结果以及浒苔每个时期减少的速率可以大 致得出: 浒苔完全消亡的时间大约为 8 月 20 日。

根据上述监测结果,2014 年黄海海域浒苔总体 生长过程可归纳为:发现(5月10日~5月15日),发 展(5月15日~6月初),暴发(6月初~6月中旬),衰退 (6月中旬~8月初),消亡(8月上旬、中旬)5个过程。

表 3 2014 年黄海海域浒苔分布动态变化表

1 ab. 5	Dyna	amic changes in	Olva prolijera	distribution
时间	分布面积	影响面积	相对聚集	
H J 101		(km ²)	(km ²)	密度
5月1	2日	2.299	1744.799	0.0132
5月2	6日	154.894	13720.366	0.0113
6月1	2日	1367.145	19850.153	0.0689
6月3	日 0	523.165	22330.248	0.0234
7月1	4日	200.086	15066.240	0.0133
8月0	4日	35.459	4698.081	0.0075
8月1	6日	1.376	16.104	0.0086

2.1.2 浒苔的影响面积

在 ArcMap 的聚类面分析中(Aggregate Polygon) 设置合适的参数(本文参数设置为 Aggregation Distance: 10000, Minimum Area: 900, Minimum Hole Size: 0),将零星的浒苔整合成相对集中的斑块,把 整合后斑块的总面积作为浒苔的影响范围,即为浒 苔的影响面积。根据浒苔的分布面积及影响面积计 算相对聚集密度,即相对聚集密度 $M=S_1/S_2$,其中 S_1 表示浒苔实际的分布面积, S_2 表示聚合后浒苔影响 面积^[25]。

2014 年浒苔的分布面积、影响面积与相对聚集 密度的综合研究显示, 浒苔于 5 月中旬在盐城市射 阳县近海海域发现。由于气温、风向、光照、降水、 盐度等条件的影响, 6 月上旬浒苔迁移到江苏、山东 海域, 并进入快速繁殖发展阶段, 其数量、影响面 积、相对聚集密度逐渐增大。6 月中旬浒苔分布范围 与相对聚集密度范围达到峰值, 浒苔的影响范围扩 大至盐城至青岛附近海域; 6 月下旬, 浒苔数量减



海洋科学 / 2016 年 / 第 40 卷 / 第 7 期



少、相对聚集密度降低,但影响面积的峰值出现在该 时期,滞后于浒苔面积和聚集密度的峰值一个阶段。 在此阶段浒苔进入衰退期,影响规模移至烟威、青岛 海岸附近。从7月初到8月中旬,由于海洋环境的改 变以及人类干预因素,浒苔面积以20.19 km²/d的速 度衰退,其影响面积及相对聚集密度逐渐缩小。7月 14、8月4日以及8月16日,影响面积分别为:15066.240、 4698.081、16.104 km²;聚集密度为:0.0133、0.0075、 0.0086(图4)。

2.2 浒苔漂移路径

利用 ArcGIS 的 Mean Center 工具找出各时相 浒苔的中心位置,以此代表该时相浒苔的漂移重心 并绘制浒苔的移动路线。5 月中旬在江苏省盐城市射 阳县海域发现零星浒苔,半个月之后,浒苔在黄海 大部分海域堆积,漂移重心距离青岛海岸 116 km, 是 2014年浒苔距离海岸最远的时期;6月中旬浒苔逐 渐向胶州半岛沿岸靠近;6月底大量浒苔在向北漂移



图 4 2014 年黄海海域浒苔分布面积、影响面积及相对聚 集密度

Fig. 4 The area of influence, distribution, and relative aggregation density of the *Ulva prolifera* green tide in the Yellow Sea during 2014

过程中陆续在青岛、烟台、威海登陆。7月中旬浒苔 中部外缘距青岛最近距离约 30 km,威海附近海面 浒苔大面积减少。7 月下旬,浒苔向西漂移过程中 开始侵入胶州湾,并大面积登陆青岛。8 月上旬浒 苔进入消亡阶段,几乎整个青岛沿岸都有浒苔涌入 堆积。8 月中旬青岛海岸浒苔消亡,仅在距青岛沿岸 37 km 处有极少量分布。浒苔漂移路径如图 5。

图 5 2014 年黄海海域浒苔漂移路径图(月/日)

由浒苔移动路径图可知,2014 年浒苔从盐城市 向东北方向漂移,并逐到达威海东南部荣成市海岸, 由于浒苔复杂的生长机理因素的持续变化,逐渐向 西南方向漂移,最后停留在青岛沿岸,直到消亡。

浒苔的最初发生在江苏省盐城市,当地 5 月中 旬海洋温度为 20~22℃,适宜浒苔繁殖发育。在浒苔 发展阶段主要由于绿潮漂移路径受海面风场和东海 环流的影响比较大^[27],日照至青岛海域间的余流基 本平行于海岸向东北方向^[28],导致浒苔大规模的向 黄海海域流动。当浒苔漂移到山东半岛南岸时,由于 表层流向东北流动,流速较小。在夏季,黄海近岸表 层流为向北然后转为向东北流动,形成顺时针旋转 的环流。而环流产生的流隔和青岛外海的涡旋使浒 苔向环流中心的辐聚,以及浒苔从黄海中部海区 向青岛沿岸海区的漂移和聚集^[29]。由于 7 月中旬 到 8 月中旬黄海海域的温度升至 27℃,已超出浒苔 最适生长环境,浒苔开始衰退直至消亡。符合浒苔漂 移受表层流和温度的控制的特点,这一特点验证了 本文研究的有效性。

3 结论与讨论

本文基于 HJ-1A/1B(CCD)卫星遥感数据,利用 神经网络监督分类及 Rule 规则影像重分类动态阈值 法,监测了 2014 年黄海海域绿潮的漂移路径、分布 面积以及漂移路径的时空分布变化与以往 5 a 卫星 遥感监测绿潮的变化过程大体一致:

1) 黄海浒苔首先发现于江苏盐城市近海附近。
 随后盐城市至青岛海域逐渐出现浒苔,并随时间逐渐向北漂移,繁殖量增多繁殖速度不断加快,最远到达烟威海岸;在衰退期浒苔向南向西移至青岛海域,进入胶州湾,最后在青岛近海 20 km 处消亡。

2) 2014 年黄海海域浒苔经过"出现—发展—暴 发—衰退—消亡"五个发展阶段。5 月中旬浒苔开始 在江苏省盐城市出现;5 月下旬是浒苔的大规模发展 阶段,浒苔的分布面积、影响面积和相对集密度均逐 渐增加;6月中旬浒苔的数量及相对聚集密度范围达 到峰值,标志着浒苔的全面暴发;6 月下旬浒苔进入 衰退阶段,浒苔的数量及相对聚集密度逐渐缩小。影 响面积的峰值出现,滞后于浒苔面积和影响面积的 峰值一个生长阶段。8 月中旬近海还漂浮少量零星浒 苔、于 8 月 20 日浒苔完全消亡。

对于浒苔的生长影响因素、运移机制本文未谈 及,这些方面将作为我们今后研究的重点。

海洋科学 / 2016 年 / 第 40 卷 / 第 7 期

参考文献:

- 李瑞香,吴晓文,韦钦胜,等.不同营养盐条件下浒 苔的生长[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(2): 211-216.
 Li Ruixiang, Wu Xiaowen, Wei Qinsheng, et al. Nutrients on the growth of Ulva prolifera and Ulva intestinalis[J]. Advances in Marine Science, 27(2): 211-216.
- [2] 何进,邵红兵,刘东艳.不同温度与营养盐条件对浒 苔(Ulva prolifera)和肠浒苔(Ulva intestinalis)的生长 影响[J]. 海洋通报, 2013, 32(5): 573-580.
 He Jin, Shao Hongbing, Liu Dongyan, et al. Impact of temperature and nutrients on the growth of Ulva prolifera and Ulva intestinalis[J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(5): 573-580.
- [3] Vahteri P, Makinen A, Salovius S, et al. Are drifting algal mats conquering the bottom of the Archipelago Sea, SW Finland?[J]. Ambio: A Journal of the Human Environment, 2000, 29(6): 338.
- [4] Charlier R H, Morand P, Finkl C W. How Brittany and Florida coasts cope with green tides[J]. International Journal of Environment al Studies, 2008, 65(2): 191.
- [5] Fan X, Xu D, et al. The effect of nutrient concentrations, nutrient ratios and temperature on photosynthesis and nutrient uptake by *Ulva prolifera*: implications for the explosion in green tides[J]. Journal of Applied Phycology, 2013, 26(1): 537-544.
- [6] 范士亮,傅明珠,李艳,等. 2009—2010 年黄海绿潮 起源与发生过程调查研究[J].海洋学报,2012, 11.34(6):188-193.

Fan Shiliang , Fu Mingzhu, Li Yan, et al.Origin and development of Huanghai (Yellow) Seagreen-tides in 2009 and 2010[J]. Acta Oceanol Ogica Sinica, 2012, 11.34(6): 188-193.

[7] 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,2014.5,34(5):1312-1328.

Wu Mengquan, Guo Hao, Zhang Anding, 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, 5, 34(5): 1312-1328.

- [8] 蒋兴伟, 邹亚荣, 王华, 等.基于 SA R 快速提取浒苔 信息应用研究[J]. 海洋学报, 2009, 31(2): 63-68. Jiang Xingwei, Zou Yarong, Wang Hua, et al. Application study on quick extraction of *Entermorpha prolifera* information using SAR data[J]. Acta Oceanol Ogica Sinica, 2009, 31(2): 63-68.
- [9] 刘振宇, 江涛. 基于 MODIS 数据的浒苔信息提取方 法研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(S1): 113-114. Liu Zhenyu, Jiang Tao.The research on the way of extracting Hu Moss on the basis of MODIS[J]. Science

of Surveying and Mapping, 2008, 33(S1): 113-114.

- [10] 胡亚丽,李晶珩,闫子衿,等.数字影像分析技术在 海滩环境监测的应用[J].海洋科学,2014,38(5):95-99.
 Hu Yali, Li Jingheng, Yan Zijin, et al. Application of digital image analysis technology in beach environment monitoring[J]. Marine Sciences, 2014, 38(5): 95-99.
- [11] Huo Y Z, Zhang, J H, Chen L P, et al. Green algae blooms caused by *Ulva prolifera* in the southern Yellow Sea: Identification of the original bloom location and evaluation of biologicalprocesses occurring during the early northward floating period[J]. Limnol Oceanogr, 2013, 58 (6), 2206-2218.
- [12] Lee C K, Park T G, et al. Monitoring and trends in harmful algal blooms and red tides in Korean coastal waters, with emphasis on *Cochlodinium polykrikoides*[J]. Harmful Algae, 2013, 30: S3-S14.
- [13] 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.
 Xing Qianguo, Zheng Xiangyang, Shi Ping, et al. Monitoring "Green Tide"in the Yellow Sea and the East China Sea using multi-temporal and multi-source remote sensing images[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31, (6): 1644-1647.
- [14] 衣立, 张苏平, 殷玉齐, 等. 2009 年黄海绿潮浒苔爆 发与漂移的水文气象环境[J], 中国海洋大学学报, 2010, 40(10): 15-23.
 Yi Li, Zhang Suping, Yin Yuqi, et al. Influence of enviormental hydro-meterorological conditions to *Enteromorpha prolifera* blooms in Yellow Sea, 2009[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(10): 15-23.
- [15] 李庆亭, 刘海霞, 方俊永, 等. MADC 在浒苔空间分 布信息提取中的应用[J]. 遥感学报, 2010, 14(2): 283-293.

Li Qingting, Liu Haixi, Fang Junyong, et al. Application of MADC system in spatial distribution information extraction of *Enteromorpha prolifera*[J]. Journal of Remote Sensing, 2010, 14(2): 283-293.

- [16] 乔方利,马德毅,朱明远,等. 2008 年黄海浒苔爆发的基本状况与科学应对措施[J].海洋科学进展,2008,26(3):409-410.
 Qiao Fangli, Ma Deyi, Zhu Mingyuan, et al. The basic situation and measures for macroalgal bloomsin the Yellow Sea in 2008[J]. Advances in Marine Science, 2008,26(3):409-410.
- [17] 李颖, 梁刚, 于水明, 等. 监测浒苔灾害的微波遥感 数据选取[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(5): 739-742.
 Li Ying, Liang Gang, Yu Shuiming, et al. Selection of microwave remote sensing data of monitoringof *Entermorpha prolifera* disaster[J]. Marine Environmental

Science, 2011, 30(5): 739-742.

- [18] 王国伟,李继龙,杨文波,等.利用 MODIS 和 RADARSAT 数据对浒苔的监测研究[J]. 海洋湖沼通 报, 2010(4): 1-8.
 Wang Guopan, Li Jilong, Yang Wenbo, et al. Parimary study of green algae prolifra using the MODIS and RADARSAT[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010(4): 1-8.
- [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.
 Fan Yanguo, Bai Yu, Chen Panpan, et al. Research of spectrum characteristics of enteromorpha in Qingdao offshore[J]. Marine Sciences, 2015, 39(4): 87-91.
- [20] Hu C M.A novel ocean color index to detect floating algae in the global ocean [J]. Remote Sensing of Enviorment, 2009, 113(10): 2118-2129.
- [21] Cui T W, Zhang J, Sun L E, et al. Satellite monitoring of massive green macroalgae bloom(GMB): Imaging ability comparison of multi-source data and drifting velocity estimation[J]. Int J Remote Sens, 2012, 33(17): 5513-5527.
- [22] Carder K L, Chen E R, Cannizzaro J R, et al. Performance of the MODIS semi - analytical ocean color algorithm for chlorophyll-a[J]. Advances in Space Research , 2004, 33(7): 1152-1159.
- [23] 邓超, 王瑞, 张涛. 基于改进神经网络的 CCD 图像 去噪方法研究[J]. 中北大学学报(自然科学版). 2010, 31(2):127-133.

Deng Chao, Wang Rui, Zhang Tao, et al. Denoising method of CCD image vased on improved neural network[J]. Journal of North University of China, 2010, 31(2): 127-133.

[24] Garcial R A, Fearns P, Keesing J K, et al. Quantification of floating macroalgae blooms using the scaled algae index[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2013, 118: 26-42.

- [25] 贾丽莉,张安定,吴孟泉.基于 MODIS 的 2013 年 黄海海域浒苔灾害的时空分布[J]. 鲁东大学学报(自 然科学版), 2015, 31(2): 172-177.
 Jia Lili, Zhang Anding, Wu Mengquan. Spatial and temporal distribution characteristic of Enteromorphain Shandong Peninsula in 2013 on the basis of MODIS data[J]. Ludong University Journal(Natural Science Edition), 2015, 31(2): 172-177.
- [26] 李德萍,杨育强,董海鹰,等. 2008 年青岛海域浒苔 大爆发天气特征及成因分析[J].中国海洋大学学报, 2009, 39(6): 1165-1170.
 Li Deping, Yang Yuqiang, Dong Haiying, et al. Cause analysis and synoptic characteristics for outbreaks of Enteromorpha around Qingdao in 2008[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(6): 1165-1170.
- [27] 左成军, 徐珊珊, 石少华, 等. 东中国海环流对 2008 年浒苔事件的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 5(9): 561-568.
 Zuo Chengjun, Xu Shanshan, Shi Shaohua, et al. Impact of East China Sea current on algal bloom in 2008[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2011, 5(9): 561-568.
- [28] 李曰嵩, 潘灵芝, 肖文军. 风对黄海绿潮藻漂移的影响[J]. 海洋环境科学, 2014, 10, 33(5): 772-776.
 Li Yuesong, Pan Lingzhi, Xiao Wenjun, et al. Effect of wind on the drifting of green macroalgae in the Yellow Sea[J]. Marine Environmental Science, 2014, 10, 33(5): 772-776.
- [29] 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分析[J].防灾科技学院学 报,2013,15(4):24-29.

Wang Ning, Cao Conghua, Huang Juan, et al. Feature analysis of green tide DRIFT path and distribution area on the sea based on remote sensing monitoring[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2013, 15(4): 24-29.

研究报告 REPORTS

Spatial and temporal variability of *Ulva prolifera* in the Yellow Sea, China in 2014

XUE Rui, WU Meng-quan, LIU Yang, SUN Xiao

(Institute of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China)

Received: Sept. 11, 2015

Key words: the Yellow Sea; Ulva prolifera; floating path; HJ-1A/1B

Abstract: A recurrent floating green algae bloom has been detected in the Yellow Sea since 2007. The algae, *Ulva prolifera*, is non-toxic, but the massive accumulations can cause significant environmental damage and result in economic loss for the marine industry. In this study, we investigate the spatial and temporal patterns of *U. prolifera* green tides in the Yellow Sea during 2014 using HJ-1A/1B satellite images, Neural Network Supervised Classification (NNSC), and RULE Image classification threshold segmentation. Results show that a little *U. prolifera* was discovered in the sea adjacent to Yan Cheng and Jiangsu Province in mid-May, with a distribution area of 2.299 km² and an area of influence of 1 744.799 km². The bloom reached a maximum, 1 367.145 km², in mid-June and was widely distributed in the Yellow Sea. Distribution area and relative aggregation density decreased rapidly after the end of June, however, the area of influence reached a peak value. In early August *U. prolifera* died out around coastal of Qingdao and was absent from remote sensing images on August 20. It existed for about 101 days in total. The *U. prolifera* bloom experienced five successive stages, i.e. appearance, development, outbreak, recession, and demise. It drifted from the Yancheng coast of Jiangsu Province to the Qingdao coast of Shandong Province, and reached its farthest extent at the Yantai coast.

(本文编辑:李晓燕)