

# 基于无人机的海滨景区绿潮监测\*

徐福祥<sup>1, 2, 3</sup> 高志强<sup>1①</sup> 尚伟涛<sup>1</sup> 宁吉才<sup>1</sup> 姜晓鹏<sup>1</sup> 宋德彬<sup>1, 2</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所 烟台 264003; 2. 中国科学院大学 北京 100049;

3. 山东工商学院公共管理学院 烟台 264005)

**摘要** 基于无人机航拍数据, 利用四种颜色指数, 结合无人机 RGB 影像对海阳市海滨景区绿潮进行特征统计和监测识别, 验证不同空间位置绿潮的适宜监测指数。结果表明: 海滨景区 G 波段高于其他波段的特征使其可以利用颜色指数进行监测; 对于不同位置的绿潮灾害, NGBDI 指数较适用于海滨景区漂浮绿潮的监测, 而 GLI 指数则更适用于海滨景区海滩绿潮的监测。

**关键词** 绿潮; 海滨景区; 无人机; 颜色指数

**中图分类号** X87 **doi:** 10.11693/hyhz20171200325

黄海绿潮已经连续暴发十年, 虽然绿潮灾害本身无毒, 但是绿潮生物量巨大, 绿潮藻死亡沉降后会消耗海水中的溶解氧, 并产生恶臭气味, 近海生态环境逐步恶化; 另外大量绿潮涌积在海滩, 海滨景观遭到破坏, 给沿岸, 尤其是青岛、威海的滨海景区旅游业造成重大影响(Wang *et al.*, 2009)。

卫星遥感由于较高的轨道高度和较宽的视场, 可以一次扫描大范围的地物, 因此成为大范围绿潮监测的常用手段(Kumar *et al.*, 2015; Xing *et al.*, 2015)。蒋兴伟等(2009)利用国内外 17 颗卫星遥感数据, 建立了绿潮灾害卫星遥感应急监视监测系统, 并对 2008 年青岛海域绿潮灾害实施了全面、客观、准确的监测, 为绿潮灾害的防控治理提供了技术支持。受空间分辨率的限制, 卫星遥感绿潮监测的精度往往存在较大误差, 利用卫星首次观测到绿潮暴发时, 漂浮藻体覆盖面积往往已经达数十平方公里(黄娟等, 2014), 进而导致黄海绿潮灾害的防控治理较为被动。Xu 等(2016, 2017)综合运用航次数据、GF-1 影像、无人机等方式对 MODIS 绿潮监测结果进行了对比验证, 发现其对于小范围的绿潮监测误差可能会高于 50%。Qiao 等(2011)认为基于 MODIS 影像的绿潮监测误差是数量级水平, 而钟山等(2013)利用 HJ-CCD

数据对比 MODIS 监测结果发现其误差在 30%左右。因此对于滨海景区这样的小范围绿潮重点防控区域, 卫星数据的时间分辨率和空间分辨率已经不能满足监测及打捞的需要。

近年来无人机技术作为地表测量和卫星遥感监测的桥梁应运而生, 以其体积小、重量轻、成本低、高效灵活、实时传输等特点, 在生态环境监测、农业生产、自然灾害监测等方面发挥了重要的作用, 是获取高分辨率遥感数据的重要途径之一, 也是地面观测和遥感卫星的有益补充(汪沛等, 2014)。不同于卫星遥感影像, 搭载传统数码相机的无人机缺乏近红外波段, 因此大多利用基于 RGB 模型的颜色指数来识别提取植被信息(Motohka *et al.*, 2010)。目前使用传统数码相机图像建立的颜色指数主要包括过绿指数(ExG)、过绿减过红指数(ExG-ExR)和归一化绿红差值指数(NGRDI)等。Woebbecke 等(1995)测试了 4 种基于色度坐标( $r, g, b$ )的颜色指数( $r-g$ ), ( $g-r$ ), ( $g-b$ )/ $|r-g|$ 和 ExG, 发现 ExG 指数对于区分植被与土壤有较高的精度, 并获得了广泛应用(龙满生等, 2007; 胡健波等, 2011; 迟德霞等, 2012)。Meyer 等(2008)对比分析了 NGRDI、ExG 和 ExG-ExR 指数对植被与背景信息的区分效果, 发现基于固定阈值的 ExG-ExR 指数的精

\* 国家自然科学基金项目, 41876107 号; 山东省联合基金项目, U1706219 号; 科技部基础支撑项目, 2014FY210600 号; 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划项目, 2016ASKJ02 号。徐福祥, 博士研究生, E-mail: fxxu@yic.ac.cn

通讯作者: 高志强, 研究员, E-mail: zqgao@yic.ac.cn

收稿日期: 2017-12-26, 收修改稿日期: 2018-04-18

度最高。Louhaichi 等(2001)发现利用基于 0 阈值的绿叶指数(GLI)可以准确的提取小麦信息。还有学者通过计算三角形绿度指数(TGI)计算叶片叶绿素含量,发现 TGI 指数与叶绿素的相关性最好(Hunt *et al*, 2011, 2013)。

无人机影像同卫星影像相比具有更高的空间分辨率;还可以根据需求及时调整目标地区,现势性极高,将无人机应用到绿潮监测中能弥补区域绿潮监测中遥感影像精度的不足。国内外已经有学者利用无人机对绿潮灾害进行了监测研究,并取得较好的监测效果。例如 Xu 等(2017)利用单波段阈值法对打捞区域的漂浮绿潮进行了实时监测,辅助打捞船进行绿潮清理作业,但是结果稳定性还有待于进一步验证。总体上利用无人机对绿潮灾害进行监测的研究还较少见,基于无人机的绿潮识别研究有待于进一步

研究。本研究尝试利用无人机正射 RGB 影像,结合多种颜色指数对海阳滨海浴场绿潮灾害进行监测研究,以期验证不同指数对海滨景区绿潮的监测精度,为绿潮灾害的监测和防控提供科学依据。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于烟台市海阳市(图 1),空间坐标为:121°8'53"N, 36°40'1"E。该区域为海阳市重要的滨海浴场景区,旅游业发达。自 2008 年以来绿潮灾害以来,每年都有大量绿潮堆积在景区海滩,景区景观遭到严重破坏,景区需投入大量的人力物力进行打捞处理。腐烂的绿潮藻类还发出恶臭,景区游客数量减少,对旅游造成显著影响。

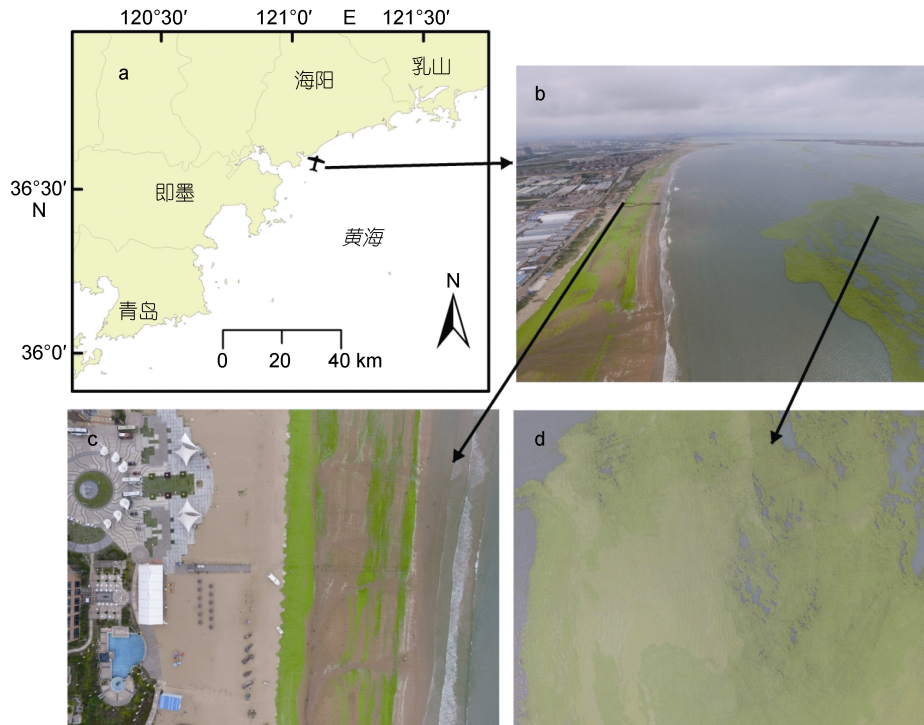


图 1 研究区概况

Fig.1 Map of the study area

注: a: 研究区空间位置图; b: 研究区航拍图; c: 海滩绿潮无人机正射影像; d: 海面绿潮无人机正射影像

### 1.2 研究方法

2016年7月6日,利用大疆 Inspire 1 无人机系统对研究区进行了正射航拍。无人机搭载的 DJI X3(FC350)数码相机拍摄的影像空间分辨率可达 10cm,并通过空间云台将影像数据实时传回地面控制站。地面接收的数据通过影像自带的 GPS 定位信息在 Pix4Dmapper 软件上进行空间坐标校正并生成

正射影像。接着利用 ArcGIS10.2 软件将正射影像投影为 WGS1984\_UTM51N 坐标系。利用 ENVI 5.1 软件在正射影像上对不同地物,如海面绿潮、海水、海滩绿潮、沙滩,分别选取 128、123、164、136 个采样点,并随机分别取 90、86、115、95 个样点用于分析其 RGB 特征,其余样点用于精度验证。然后根据不同颜色指数的定义(公式 1,公式 2,公式 3,公式

4), 采用固定阈值法分别提取研究区海面绿潮和海滩绿潮信息, 并将绿潮信息与验证样点位置绿潮信息对比, 以验证提取结果是否正确, 统计正确验证样点数量, 进而得出不同指数的绿潮提取精度。

$$\text{EXG}=(2G-R-B), \quad (1)$$

$$\text{NGRDI}=(G-R)/(G+R), \quad (2)$$

$$\text{NGBDI}=(G-B)/(G+B), \quad (3)$$

$$\text{GLI}=(2G-R-B)/(2G+R+B). \quad (4)$$

以上公式中 EXG(excess green): 过绿指数; NGRDI(normalized green-red difference index): 归一化绿红差值指数; NGBDI(normalized green-blue difference index): 归一化绿蓝差值指数; GLI (green leaf index): 绿叶指数。式中  $R, G, B$  分别为红绿蓝波段的像素值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 滨海景区绿潮特征

由滨海景区不同地物采样点 RGB 波段统计特征(图 2)所示, R(红)波段均值在沙滩最高, 可达 160; 最低值出现在海滩绿潮, 仅为 99。在 G(绿)波段的均值则相反, 海面绿潮达到了最高的 160; 其次是海滩绿潮, 该值为 142; 海水与沙滩的 G 波段均值均低于 140。B(蓝)波段最高值在海水, 均值为 141; 其次是沙滩, 该值为 113; 海面绿潮与海滩绿潮均低于 100。

从同一地物不同波段的差异来看, 海面绿潮与海滩绿潮均值最高的均为 G 波段, 最低的均为 B 波段; 而海水最高与最低的分别为 B 波段和 R 波段; 沙滩则完全相反。

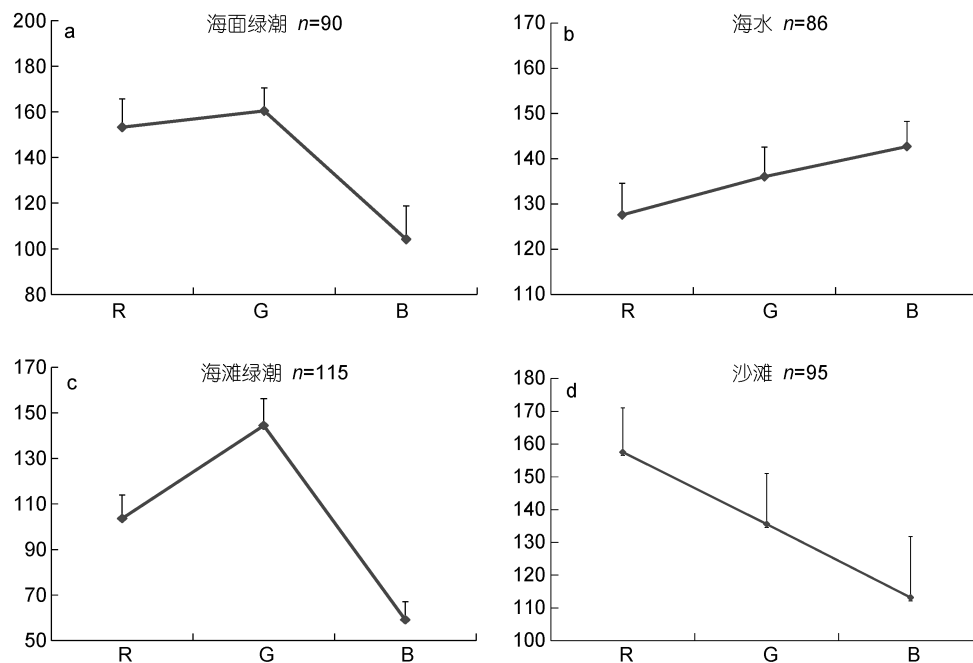


图 2 海滨景区不同地物 RGB 波段统计特征

Fig.2 RGB characteristics of images of different objects in the scenic area

注:  $n$ : 样点数量

### 2.2 滨海景区绿潮不同颜色指数空间特征

由海面绿潮不同颜色指数空间分布图(图 3)可以看出, EXG、GLI 和 NGBDI 三种指数的空间分布较为一致, 主要表现为左上角海水区域数值较低, 而中间绿潮部分数值较高。NGRDI 指数在空间分布上则无法区分左上角的海水区域, 中间部分数值偏低, 影响绿潮信息的提取。可能的原因是海面绿潮 R 波段均值稍小于 G 波段均值(图 2a), 而海水(图 2b)的 R、G 波段具有同样的趋势, 所以 NGRDI 算法难以区分海水

和海面绿潮。

从海滩绿潮颜色指数空间分布图(图 4)可以看出, 四种指数均基本能反映海滩绿潮空间分布, 但是 NGBDI 指数空间分布整体较为模糊, 辨识度不高。这是因为海滩绿潮在 G 波段高于 B 波段(图 2c), 而沙滩同样具有这种趋势(图 2d), 导致 NGBDI 指数无法将海滩绿潮与沙滩准确区分开来。另外, NGRDI 指数空间分布受海水的影响, 在右下角部分较为模糊, 影响绿潮识别。

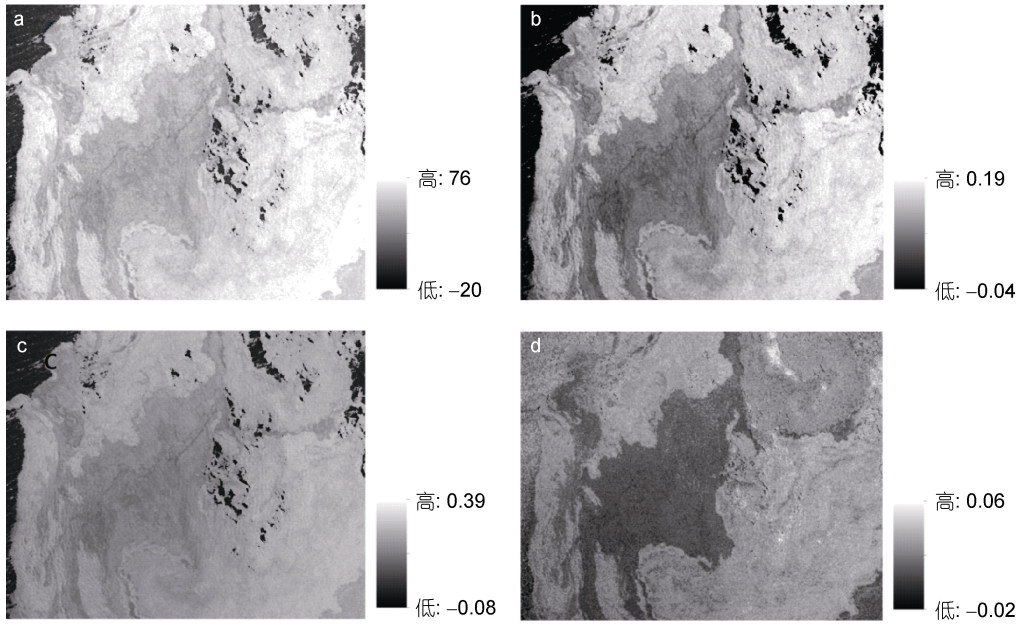


图 3 海面绿潮不同颜色指数空间分布

Fig.3 Color distribution of different color indices of the green-tide area at sea  
注: a: EXG; b: GLI; c: NGBDI; d: NGRDI

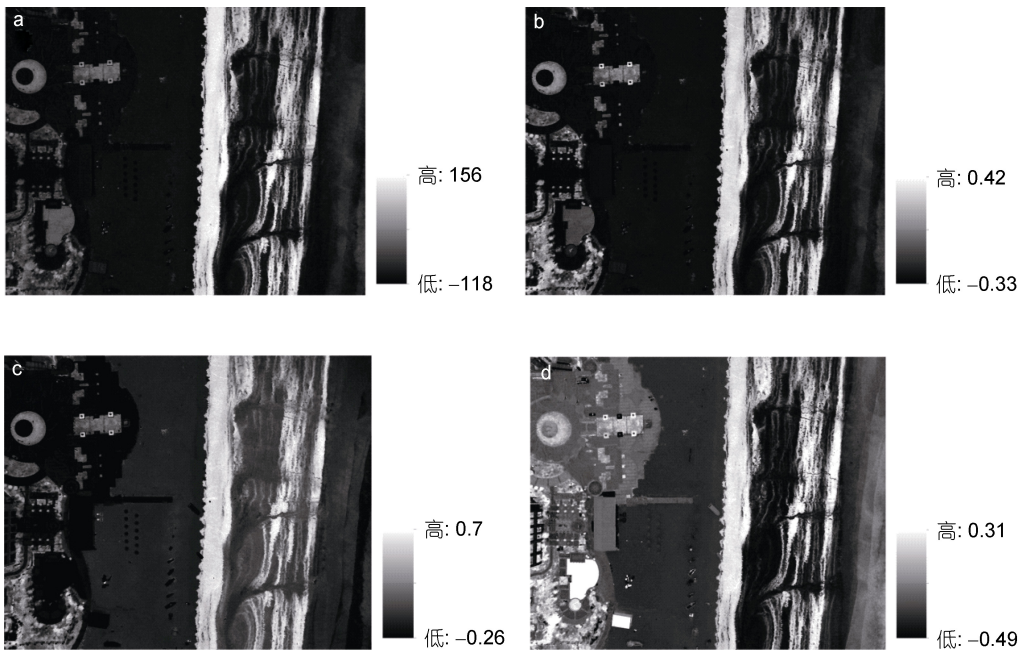


图 4 海滩绿潮颜色指数空间分布

Fig.4 Color distribution of different color indices of the green-tide area on the beach  
注: a: EXG; b: GLI; c: NGBDI; d: NGRDI

### 2.3 滨海景区绿潮监测结果分析

采用阈值法提取的滨海景区海面绿潮如图 5 所示, 从图中可以看出 NGRDI 指数提取结果最差, 这与其空间分布的趋势一致。由表 1 可以看出, 监测结果精度最高的是 NGBDI 和 GLI 指数, 其监测精度均

高于 90%。EXG 指数紧随其后, 监测精度为 87%, 而 NGRDI 的精度仅为 48%。这是因为 NGBDI 和 GLI 指数(公式 3, 公式 4)都利用了海面绿潮与海水在 G 波段和 B 波段上的差异, 而 NGRDI 指数(公式 2)则只是利用了 R 波段与 G 波段来区分绿潮与海水, 效果较

差。GLI 指数相对于 NGBDI 指数增加了 R 波段的要素, 而海面绿潮 G 波段与 R 波段相差较小(图 2a), 因

此区分效果稍差与 NGBDI。综合以上分析, NGBDI 指数较适用于海滨景区漂浮绿潮的监测。

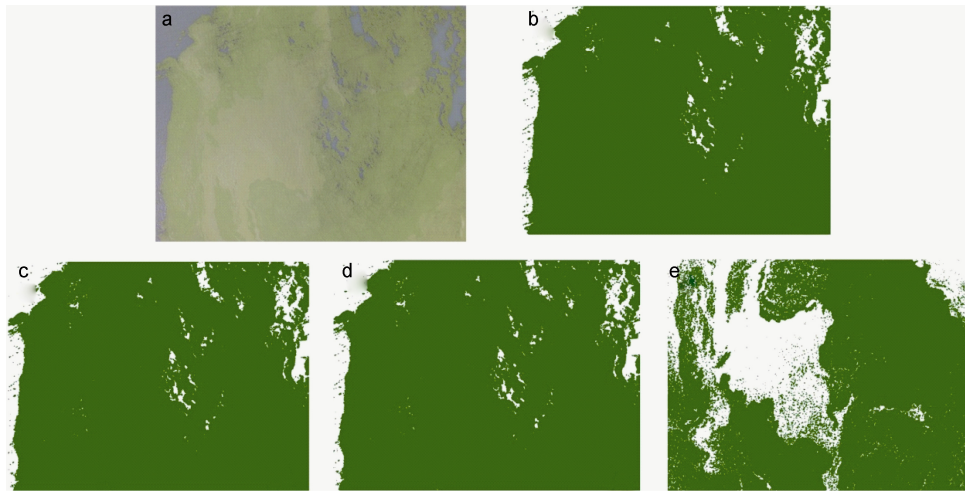


图 5 海面绿潮监测结果

Fig.5 Result of the green tide at sea surface

注: a: 海面绿潮原始图像; b: EXG; c: GLI; d: NGBDI; e: NGRDI

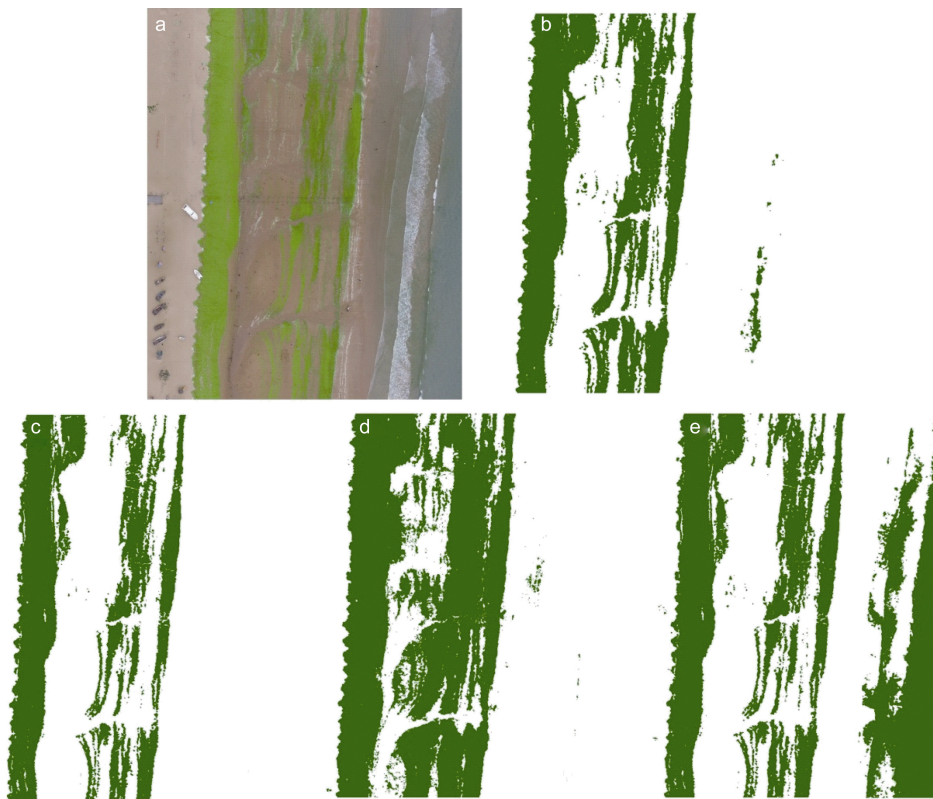


图 6 海滩绿潮监测结果

Fig.6 Result of green tide on beach

注: a: 海滩绿潮原始图像; b: EX; c: GLI; d: NGBDI; e: NGRDI

由图 6 可以看出, NGRDI 指数对海滩绿潮监测结果较差, 仅为 71%, 右下角水边线部分误提取为绿

潮。GLI 指数海滩绿潮监测结果精度最高, 其次是 EXG, 两者监测精度都高于 90%。虽然 GLI 与 EXG

指数(公式 1, 公式 4)都用到了 R、G 和 B 波段, GLI 指数采用了归一化的参数设计, 使绿潮辨识度更高, 而 EXG 数值则较为离散, 绿潮辨识度较低, 这与 GLI 和 EXG 数值空间分布图(图 3a, 图 3b)趋势一致。NGBDI 指数由于绿潮与沙滩在 G 波段与 B 波段的相似性, 绿潮监测精度小于 GLI 和 EXG 指数。因此, GLI 指数更适用于海滨景区海滩绿潮的监测。

表 1 不同颜色指数绿潮提取阈值与提取精度  
Tab.1 The accuracy of green tide mapping with different algorithms

颜色指数	海面漂浮绿潮		海滩绿潮	
	阈值	精度(%)	阈值	精度(%)
EXG	35	82	27	88
	36	87	28	91
	37	83	29	86
GLI	0.013	83	0.014	92
	0.014	90	0.015	96
	0.015	79	0.016	94
NGBDI	0.12	92	0.03	76
	0.13	94	0.04	82
	0.14	90	0.05	79
NGRDI	0.014	42	0.015	67
	0.015	48	0.016	71
	0.016	45	0.017	65

### 3 结论

本文利用大疆 Inspire 1 无人机航拍的正射影像数据, 利用 ENVI 5.1 软件在正射影像上对不同地物选取一定数量采样点, 分析其 RGB 特征, 然后根据不同颜色指数的公式采用固定阈值法分别提取研究区海面绿潮和海滩绿潮信息, 对比分析了不同指数(EXG、GLI、NGBDI 和 NGRDI)在监测滨海景区不同位置绿潮分布的适宜性。

经过研究发现, 海滨景区绿潮在无人机 RGB 影像上表现为 G 波段高于 R 和 B 波段, 而海水与沙滩 G 波段则高于或者低于 R 波段, 因此可以用颜色指数来监测海滨绿潮灾害。对于海面和海滩两种不同位置的绿潮, 不同颜色指数监测的精度差异较大。其中, 对于海面绿潮, NGBDI 指数监测精度最高, 可达 94%, 最低的 NGRDI 指数监测精度仅为 48%; 归一化的 GLI 指数对海滩绿潮监测精度最高, 精度可达 96, 而

NGRDI 指数监测精度仅为 71%。因此, 在对滨海景区绿潮进行无人机监测时, NGBDI 指数较适用于漂浮绿潮的监测, 而 GLI 指数则对海滩绿潮的监测精度更高。

### 参 考 文 献

- 龙满生, 何东健, 2007. 玉米苗期杂草的计算机识别技术研究. 农业工程学报, 23(7): 139—144
- 迟德霞, 张伟, 王洋, 2012. 基于 EXG 因子的水稻秧苗图像分割. 安徽农业科学, 40(36): 17902—17903
- 汪沛, 罗锡文, 周志艳等, 2014. 基于微小型无人机的遥感信息获取关键技术综述. 农业工程学报, 30(18), 1—12
- 胡健波, 张璐, 黄伟等, 2011. 基于数码照片的草地植被覆盖度快速提取方法. 草业科学, 28(9): 1661—1665
- 钟山, 丁一, 李振等, 2013. MODIS 浒苔遥感监测误差分析研究. 遥感信息, 28(1), 38—42
- 黄娟, 吴玲娟, 高松等, 2014. 黄海绿潮分布年际变化分析. 激光生物学报, 23(6): 572—578
- 蒋兴伟, 刘建强, 邹斌等, 2009. 浒苔灾害卫星遥感应急监视监测系统及其应用. 海洋学报, 31(1): 52—64
- Hunt Jr E R, Daughtry C S T, Eitel J U H *et al*, 2011. Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy Journal*, 103(4): 1090—1099
- Hunt Jr E R, Doraiswamy P C, McMurtry J E *et al*, 2013. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21: 103—112
- Kumar L, Sinha P, Taylor S *et al*, 2015. Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1): 097696
- Louhaichi M, Borman M M, Johnson D E, 2001. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1): 65—70
- Meyer G E, Neto J C, 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63(2): 282—293
- Motohka T, Nasahara K N, Oguma H *et al*, 2010. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, 2(10): 2369—2387
- Qiao F L, Wang G S, Lü X G *et al*, 2011. Drift characteristics of green macroalgae in the Yellow Sea in 2008 and 2010. *Chinese Science Bulletin*, 56(21): 2236—2242
- Wang X H, Li L, Bao X *et al*, 2009. Economic cost of an algae bloom cleanup in China's 2008 Olympic sailing venue. *Eos Transactions American Geophysical Union*, 90(28): 238—239
- Woebbecke D M, Meyer G E, Von Bargen K *et al*, 1995. Color Indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1): 259—269
- Xing Q G, Hu C M, Tang D L *et al*, 2015. World's largest macroalgal blooms altered phytoplankton biomass in summer in the Yellow Sea: satellite observations. *Remote*

Sensing 7(9): 12297—12313

Xu F X, Gao Z Q, Ning J C *et al*, 2016. Error analysis on green tide monitoring using MODIS data in the Yellow Sea based on GF-1 WFV data. In: Proceedings Volume 9975, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XIII.

San Diego, California, United States: SPIE, 99750P

Xu F X, Gao Z Q, Shang W T, *et al*, 2017. Validation of MODIS-based monitoring for a green tide in the Yellow Sea with the aid of unmanned aerial vehicle. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1): 012007

## DRONE-BASED MONITORING ON GREEN TIDE ALONG COASTAL TOURISM AREA

XU Fu-Xiang<sup>1, 2, 3</sup>, GAO Zhi-Qiang<sup>1</sup>, SHANG Wei-Tao<sup>1</sup>, NING Ji-Cai<sup>1</sup>,  
JIANG Xiao-Peng<sup>1</sup>, SONG De-Bin<sup>1, 2</sup>

(1. *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3. *School of Public Administration, Shandong Technology and Business University, Yantai 264005, China*)

**Abstract** RGB images were taken by a drone-borne camera and analyzed using four-color indices to monitor and identify green tide in the coastal scenic area in Haiyang, Shandong. Monitoring indices in different locations were specified. The results show that the characteristic values of G-band are greater than the other bands' and the color indices could be used for green tide monitoring. For different places of the green tide outbreak, NGBDI (normalized green-blue difference) index is applicable for monitoring floating green tide at sea, and GLI (green leaf index) index for green tide monitoring on beach.

**Key words** green tide monitoring; coastal scenic area; drone; color index