

引用格式:蔡玉林,孙旋,索琳琳,等.基于西沙群岛虚拟站的珊瑚礁白化监测分析[J].山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(5):11-17.

CAI Yulin, SUN Xuan, SUO Linlin, et al. Analysis of coral reef bleaching monitoring based on Xisha islands virtual station [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2018, 37(5): 11-17.

基于西沙群岛虚拟站的珊瑚礁白化监测分析

蔡玉林^{1,2},孙 旋^{1,2},索琳琳^{1,2},夹尚丰¹

(1. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 海岛(礁)测绘技术国家测绘地理信息局重点实验室, 山东 青岛 266590)

摘要:受全球变暖和人类活动的影响,珊瑚礁白化现象愈发严重,温度是影响珊瑚生长发育的主要因素之一。美国国家海洋和大气管理局基于海表温度开发了珊瑚礁白化监测产品,以此估算全球珊瑚礁白化程度并进行白化预警。根据2013—2016年西沙群岛虚拟站的海表温度,对该站周围海域的珊瑚礁进行白化监测分析。结果表明,西沙群岛站附近的珊瑚可能正在经历珊瑚白化甚至死亡,其中2014年海表温度异常情况最为严重,珊瑚礁白化可能性极大。

关键词:海表温度;珊瑚礁;白化;周热度;白化预警;西沙群岛

中图分类号:P735

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2018)05-0011-07

DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2018.05.002

Analysis of Coral Reef Bleaching Monitoring Based on Xisha Islands Virtual Station

CAI Yulin^{1,2}, SUN Xuan^{1,2}, SUO Linlin^{1,2}, JIA Shangfeng¹

(1. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Key Laboratory of Surveying and Mapping Technology on Island and Reef, NASMG, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Influenced by global warming and human activities, coral reef bleaching is becoming increasingly serious. Studies have shown that temperature plays an important role in the growth of corals, which is an important factor in affecting coral bleaching. National oceanic and atmospheric administration(NOAA) has developed thermal stress satellite products to estimate the extent of global coral reef bleaching and warning areas based on sea surface temperature(SST). Bleaching analysis of the corals in the sea around the Xisha islands virtual station was made based on the station's SST in 2013—2016. The results show that the corals near the Xisha islands station are likely to be bleaching and even dying, and that the most serious of coral reef bleaching is very likely to occur in 2014 since the sea surface temperature anomaly is the most serious.

Key words: surface sea temperature; coral reef; bleaching; degree heat week; bleaching alert; Xisha islands

近年来珊瑚礁的生存面临严重威胁,大量珊瑚栖息地迅速减少^[1]。珊瑚白化是导致珊瑚礁衰退的最主要原因是^[2],健康的珊瑚五彩斑斓,这些颜色取决于其体内共生藻类的光合色素。然而,在周围环境的胁迫下,

收稿日期:2017-04-12

基金项目:国家重点研发计划重点专项子项目(2017YFC1405006)

作者简介:蔡玉林(1974—),男,山东高密人,讲师,博士,主要从事资源环境遥感方面的研究. E-mail:yulin_cai@163.com

孙 旋(1992—),女,山东诸城人,硕士研究生,主要从事资源环境遥感方面的研究,本文通信作者.

E-mail:1763571319@qq.com

珊瑚的共生藻类会被主体珊瑚排出体外,缺乏共生藻类的珊瑚通过半透明的珊瑚组织将其白色的碳酸钙骨架显露出来,使受影响的珊瑚群体变成白色,这种现象通常被称为“珊瑚白化”^[3-4]。严重的白化事件对珊瑚礁生态系统具有长期显著的生态影响,例如造礁珊瑚的衰减、底栖生境的变化以及某些鱼类种群的变化等。即使在适宜珊瑚生长的条件下,严重白化的珊瑚可能需要多年才能恢复健康状态^[5]。因此,珊瑚礁生态系统的监测与保护问题已引起越来越多专家学者的重视。研究显示,引起珊瑚白化的原因主要是极端异常的气候条件,尤其是诸如温度、紫外线辐射和光合有效辐射等因素对珊瑚造成的影响颇为明显,其中,海水温度的升高作为影响珊瑚礁生长发育的关键因素,已逐步被专家学者所接受^[6-7]。政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第五次评估报告^[8]指出,过去 130 年全球升温 0.85 ℃。当环境水温高出夏季平均温度 1~2 ℃时有可能发生珊瑚白化现象^[9]。温度过高不仅降低珊瑚的生长繁育能力^[7-8],还削弱珊瑚抵抗疾病的能力^[10-12]。对于已经白化的珊瑚,长期的热胁迫会导致珊瑚死亡^[12-13]。基于海表温度的珊瑚礁白化监测已被专家学者认可。

1997 年,美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的国家环境卫星、数据和信息服务局(National Environmental Satellite, Data and Information Service, NESDIS)开始生产基于海水表面温度(sea surface temperature, SST)的近实时热胁迫监测产品,用于监测因温度异常导致的大规模珊瑚白化区域并估测白化强度。2000 年,NOAA 成立珊瑚礁监测计划^[14](Coral Reef Watch, CRW),发布一系列基于 50 km 空间分辨率海表温度的珊瑚礁白化监测产品,如:海表温度、海表温度距平值、白化热点、周热度和虚拟站等来监测并对珊瑚礁进行白化监测预警。SST 1997 年开始作为实验产品,2002 年 9 月正式升级为运营产品。尽管 50 km 产品成功运行并提供了实时的监测服务,但在珊瑚礁监管方面仍存在明显缺点。首先,监测海表温度时只有完全被水覆盖的像元才可以避免陆地像元的干扰,而每个像元代表 50 km×50 km 的地面范围,所以使得海岸线边界像元的估测误差较大。其次,由于分辨率较低,小于 50 km 的珊瑚礁难以被发现,这意味着全球相当一部分的珊瑚礁将被忽略。因此,CRW 于 2013 年 3 月发布了 5 km 分辨率的监测产品,提高了产品的空间和时间分辨率。

随着全球变暖以及人类活动的影响,南海中珊瑚白化程度越来越严重,监测并保护珊瑚礁的行动刻不容缓。本研究基于 CRW 提供的 5 km 数据,以南海西沙群岛虚拟站为例,分析了该区域 2013—2016 年西沙群岛虚拟站的海表温度异常,对西沙群岛虚拟站周围海域的珊瑚礁健康状况进行白化监测。

1 研究区域

西沙群岛(Xisha Islands)位于南海西北部,距离海南岛东南方 180 海里,主体部分位于北纬 15°46'~17°08',东经 111°11'~112°54',位于北回归线以南,属热带海洋性季风气候。本研究选择西沙群岛虚拟站(北纬 16.450°,东经 112.025°)为中心的周边区域作为研究区域,通过 NOAA 发布的珊瑚礁监测产品,对西沙群岛附近珊瑚进行白化监测与预警。图 1 为西沙群岛虚拟站的地理位置。

2 实验数据

CRW 发布的 5 km 分辨率的 SST 监测产品,是在美国 NASA(National Aeronautics and Space Administration)和 NOAA 的支持下,应用 4 颗地球同步卫星和 2 颗地球近极轨卫星共同作用产生的(表 1)^[6]。地球同步卫星每 15 min 提供一次 SST 数据,能覆盖中低纬度大部分地区;近极轨卫星低轨道运行保证了更高的空间分辨率,而且能覆盖地球同步卫星遗漏的区域。因此,地球同步卫星与近极轨卫星共同保证覆盖全球范围的实时监测,采用同步-极轨卫星混合监测方法获取 SST 能显著提高产品的空间与时间分辨率,进而提高产品质量。文中数据产品均来自 NOAA 珊瑚礁监测官方网站^[15]。

3 珊瑚礁白化监测方法与分析

珊瑚礁白化监测的方法主要基于 SST 数据计算白化热点^[16-17]和周热度^[18]。白化热点(bleaching hotspots)是海表温度与多年来最热月平均温度的差值,其描述了一个地区的海表温度高出该地区长期以来

的最热月温度的程度,只表示珊瑚在某个时间点的热胁迫程度,无法表示持续的累积效果。周热度(degree heating week, DHW)表示某区域最近12周(84天)的珊瑚白化热点的累积值,实验监测显示,温度低于1℃的热点值不足以对珊瑚产生明显的热胁迫,只有白化热点大于(或等于)1℃时才累积^[18],因此,周热度表示了一段时间内温度对珊瑚的持续热胁迫作用。

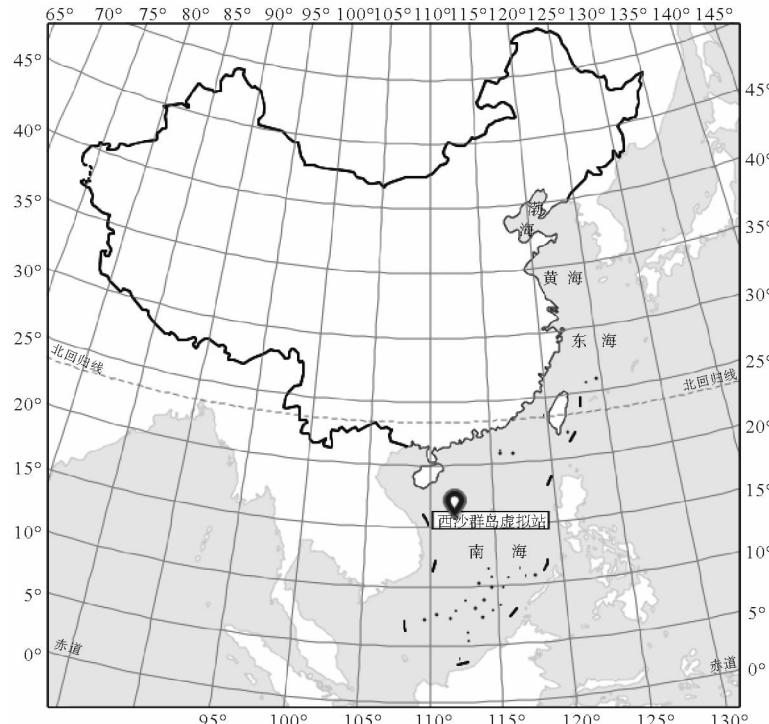


图1 西沙群岛虚拟站点位置图

Fig. 1 Virtual station location map Xisha Islands

表1 监测 SST 数据所用卫星一览表

Tab. 1 List of satellites used to monitor SST data

| 卫星 | 机构 | 高度/km | 经度/(°E) |
|------------------|----------|---------|---------|
| 地球静止卫星系列 | | | |
| GOES-W(GOES-15) | NOAA | ~35 800 | -135 |
| GOES-E (GOES-13) | NOAA | ~35 800 | -75 |
| MTSAT-2 | JMA | ~35 800 | 0 |
| MSG-3 | EUMETSAT | ~35 800 | 140 |
| 极轨卫星系列 | | | |
| Suomi-NPP | NOAA | ~824 | |
| MetOp-B | EUMETSAT | ~817 | |

利用5km分辨率的SST产品分别利用公式1和2求取白化热点和周热度。

$$T_{\text{hotspot}} = \begin{cases} T_{\text{sst}} - T_{\text{mmm}}, & T_{\text{sst}} > T_{\text{mmm}}, \\ 0, & T_{\text{sst}} \leq T_{\text{mmm}} \end{cases}, \quad (1)$$

其中, T_{hotspot} 为白化热点, 单位为°C; T_{sst} 为海表温度; T_{mmm} 为最热月平均温度。

$$H_{\text{DHW}} = \frac{1}{7} \times \sum_{i=1}^{84} T_i, (T_i \geq 1) . \quad (2)$$

其中, H_{DHW} 为周热度, 单位为 $^{\circ}\text{C}\text{-weeks}$; T_i 为最近 84 天热点值。

以 2016 年 6 月 18 日为例介绍珊瑚礁白化监测方法, 图 2 为该日西沙群岛附近的海表温度分布图, 颜色由浅至深代表海表温度依次递增。图 3 是白化热点分布图, 颜色由浅至深代表热点值依次递增, 可以看出西沙群岛大部分区域白化热点在 $1\sim 2\ ^{\circ}\text{C}$ 之间, 甚至有少部分海域热点高于 $2\ ^{\circ}\text{C}$ 。图 4 是周热度分布图, 颜色由浅及深代表周热度数值依次增大, 可以看出西沙群岛的周热度基本在 $2\sim 4$ 之间, 附近海域有少部分区域周热度高于 4。

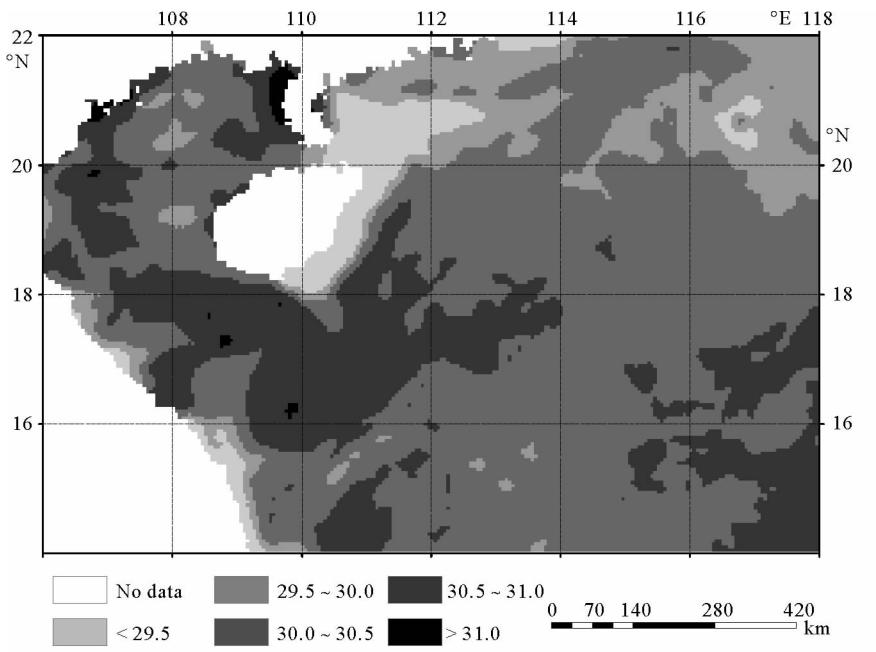


图 2 2016 年 6 月 18 日海表温度

Fig. 2 Sea surface temperature on June 18, 2016

为了更方便直接地监测珊瑚礁白化程度, 为用户提供反馈信息, 根据热点值、周热度的取值范围以及实测珊瑚礁白化数据, CRW 对珊瑚礁进行白化预警分级, 将预警分为无危险、白化监视、白化警示、白化警报一级和白化警报二级等 5 个预警级别^[18-19], 判别标准如表 2 所示。

表 2 珊瑚礁白化预警分级表
Tab. 2 The stress levels of coral reef bleaching alert areas

| 预警级别 | 定义范围 | 白化发生的可能性 |
|--------|--|----------|
| 无危险 | $\text{Hotspot} \leqslant 0$ | 无白化现象 |
| 白化监视 | $0 < \text{Hotspot} < 1$ | |
| 白化警示 | $1 \leqslant \text{Hotspot} \text{ and } 0 < \text{DHW} < 4$ | 可能发生白化 |
| 白化警报一级 | $1 \leqslant \text{Hotspot} \text{ and } 4 \leqslant \text{DHW} < 8$ | 很有可能白化 |
| 白化警报二级 | $1 \leqslant \text{Hotspot} \text{ and } 8 \leqslant \text{DHW}$ | 可能死亡 |

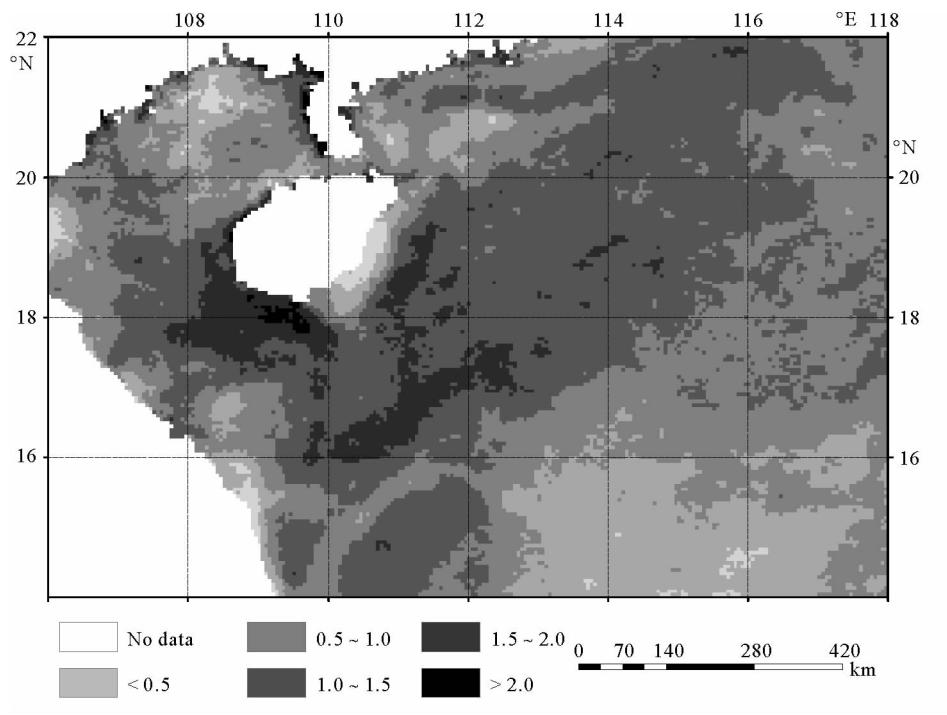


图 3 2016 年 6 月 18 日珊瑚礁白化热点图

Fig. 3 Coral reef bleaching hotspot on June 18, 2016

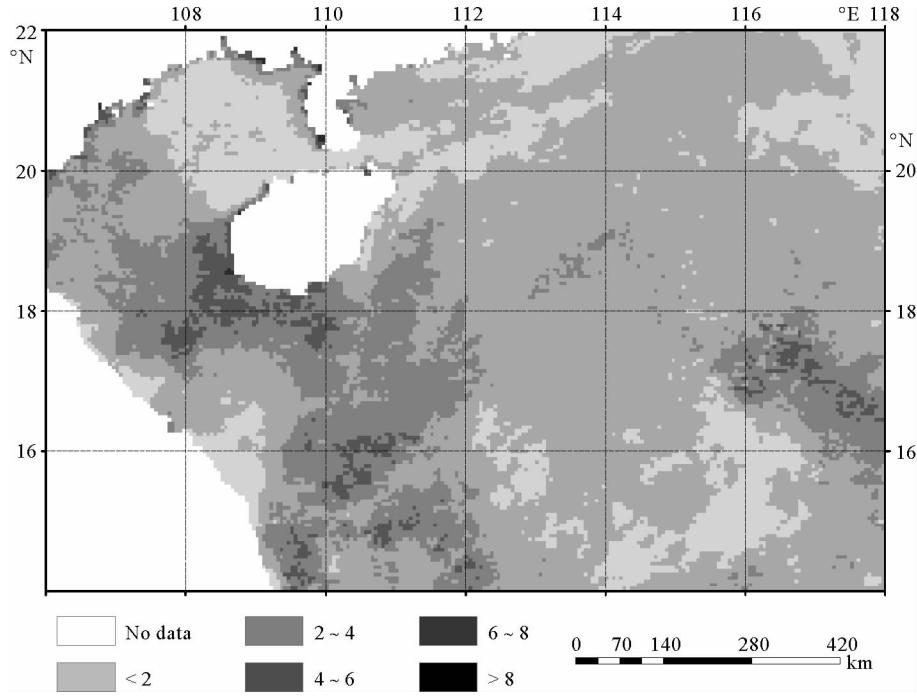


图 4 2016 年 6 月 18 日珊瑚礁白化周热度图

Fig. 4 Coral reef bleaching degree heating weeks on June 18, 2016

根据上述分级,2016 年 6 月 18 日监测的西沙群岛大部分区域已处于白化警示级别,有小部分区域甚至已处于白化警报一级。

区域虚拟站是 CRW 开发的珊瑚礁白化监测系列产品之一,包括 50 km 与 5 km 两种分辨率。其中,

5 km 虚拟站目前共有 212 座,综合之前采集的白化监测系列产品数据,包括区域热应力计、时间序列表等,为研究人员提供长期的监测数据^[6]。相对于其他位置,区域虚拟站可以利用更高分辨率的数据对整个管辖区进行快速近实时监测,监测效率更高。

根据西沙群岛虚拟站采集的信息,得到该站点 2013—2016 年 SST 与 DHW 的时间变化序列图(图 5(a)、5(b)分别为 2013—2014 年、2015—2016 年的时间序列变化),可以看出,2013—2016 年 5 至 10 月份的大部分时间内,海表温度达到白化阈值(bleaching threshold)、即比白化热点高 1 ℃的温度值,尤其是 2014 年最为严重,该站点 2014 年 4 月中旬开始出现白化热点。2013 年最早出现白化热点是在 4 月下旬,2015 年与 2016 年则最早出现在 5 月上旬。与此同时,2013—2016 年的 SST 高于白化阈值的时间均出现在 5 月份,从 5 月上旬开始热点值出现累积,DHW 出现正值,甚至出现 DHW 超过白化警报级别(DHW 值高于 4 °C-weeks)的现象。从 DHW 趋势变化可以看出,2013—2016 年 4 年间 DHW 的峰值均出现在 8 月中下旬,其中 2014 年的 DHW 出现时间最早,并呈逐渐升高的趋势,2014 年 8 月中旬达到顶峰,然后逐渐减弱,到 11 月末消失,2014 年及 2016 年都出现了大于 8 的 DHW 值,而 2014 年持续时间最长,7—8 月份连续两个月高于 8 °C-weeks,说明该年份的 SST 出现了长时间的异常高温。根据白化预警标准,2013—2016 年均出现达到白化警报一级的现象,个别年份持续时间较长,2014 年及 2016 年均长时间达到白化警报二级,因此该海域周围的珊瑚礁白化、致死的可能性很高。

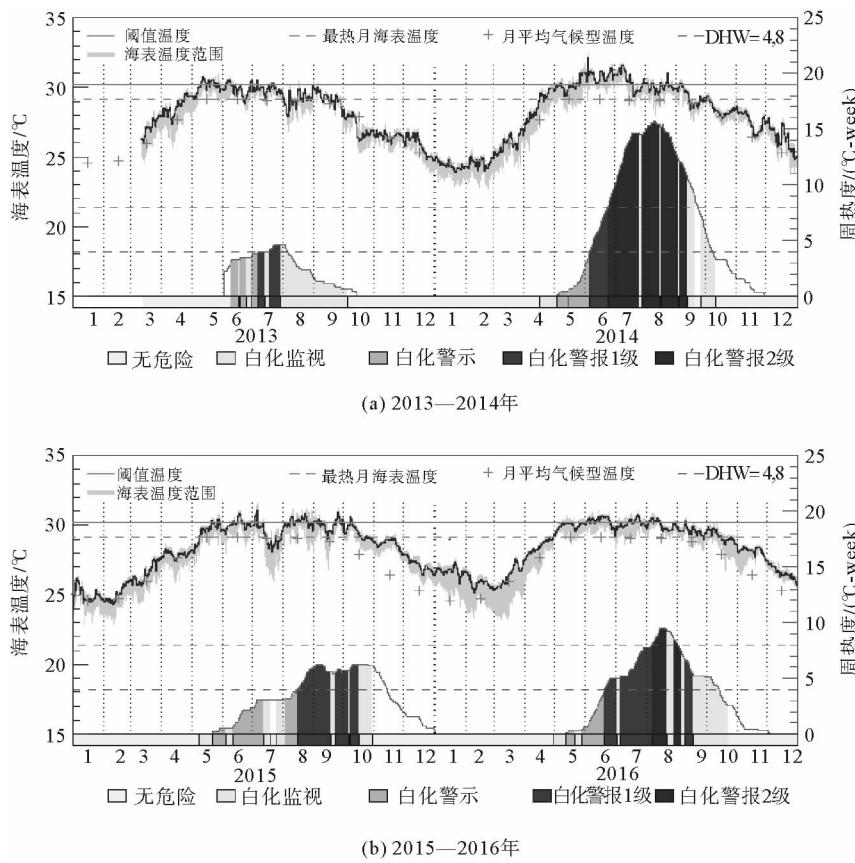


图 5 西沙群岛站的海表温度及周热度时间序列图

Fig. 5 Time series of SST and DHW for virtual stations in the Xisha Islands

4 结论

NOAA 海表温度产品清晰直观地展示了全球海表温度的分布状况,它发布的 5 km 分辨率 SST 系列产品可以较为准确地监测珊瑚礁白化。根据珊瑚发生白化的可能性大小可以作出白化预警级别图,使公众和环境管理工作者了解珊瑚礁的健康状态。

通过对西沙群岛虚拟站的数据分析发现,其周围的海水温度异常状况已持续很长一段时间,周围珊瑚发生白化的可能性较大。由西沙群岛2013—2016年SST和DHW时间序列图可得出,西沙群岛站周围珊瑚礁白化一般出现在每年的7—9月份,其中2014年珊瑚礁白化发生较早,从6月份开始出现,而且2014年周热度最高,持续时间最长,极大可能发生珊瑚礁白化。需要对该站周围海域的珊瑚礁的白化程度进行持续监测和预警。

参考文献:

- [1] RIEGL B M, PURKIS S J. Coral reefs of the gulf[M]. Springer Netherlands, 2012.
- [2] WILKINSON C. Status of coral reefs of the world: 2008 global coral reef monitoring network and reef and rainforest research centre[J]. Coral Reefs, 2008, 3: 296-296.
- [3] BERKELMANS R, WILLIS B L. Seasonal and local spatial patterns in the upper thermal limits of corals on the inshore central great barrier reef[J]. Coral Reefs, 1999, 18(3): 219-228.
- [4] REASER J K, POMERANCE R, THOMAS P O. Coral bleaching and global climate change: Scientific findings and policy recommendations[J]. Conservation Biology, 2000, 14(5): 1500-1511.
- [5] GRAHAM N A J, NASH K L, KOOL J T, et al. Coral reef recovery dynamics in a changing world[J]. Coral Reefs, 2011, 30 (2): 283-294.
- [6] LIU G, HERON S, EAKIN C, et al. Reef-Scale thermal stress monitoring of coral ecosystems: New 5-km global products from NOAA coral reef watch[J]. Remote Sensing, 2014, 6(11): 11579-11606.
- [7] GLYNN P W, D'CROZ L. Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño-coincident coral mortality[J]. Coral Reefs, 1990, 8(4): 181-191.
- [8] IPCC. Climate change 2014: Mitigation of climate change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [9] FITT W K, BROWN B E, WAMER M E, et al. Coral bleaching: Interpretation of thermal tolerance limits and thermal thresholds in tropical corals[J]. Coral Reefs, 2001, 20(1): 51-65.
- [10] EAKIN C M, MORGAN J A, HERON S F, et al. Caribbean corals in crisis: Record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005[J]. Plos One, 2010, 5(11): e13969.
- [11] HUGHES T P, BAIRD A H, BELLWOOD D R, et al. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs[J]. Science, 2003, 301(5635): 929.
- [12] RICHARDSON L L, GOLDBERG W M, KUTA K G, et al. Florida's mystery coral-killer identified[J]. Nature, 1998, 392 (6676): 557-558.
- [13] CLARK C D, MUMBY P J, CHISHOLM J R M, et al. Spectral discrimination of coral mortality states following a severe bleaching event[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(11): 2321-2327.
- [14] STRONG A E, LIU G, MEYER J, et al. Coral reef watch 2002[J]. Bulletin of Marine Science, 2004, 75(2): 259-268.
- [15] NOAA CORAL REEF WATCH PROGRAM. NOAA coral reef watch daily global 5-km satellite virtual station time series data[EB/OL]. <http://coralreefwatch.noaa.gov/vs/index.php>, (2015-02-16)[2017-03-20].
- [16] REAKA M L, LOMBARDI S A. Hotspots on global coral reefs[M]. Berlin and Heidelberg: Springer, 2011: 471-501.
- [17] STRONG A E, BARRIENTOS C S. Improved satellite techniques for monitoring coral reef bleaching[J]. Coral Reefs, 1997, 12(1): 1-17.
- [18] LIU G, STRONG A E, SKIRVING W. Remote sensing of sea surface temperatures during 2002 barrier reef coral bleaching [J]. Eos Transactions American Geophysical Union, 2003, 84(15): 137-141.
- [19] WELLINGTON G M, GLYNN P W, STRONG A E, et al. Crisis on coral reefs linked to climate change[J]. EOS Transactions American Geophysical Union, 2001, 82(1): 1-5.

(责任编辑:高丽华)