

# 2009—2013 年普里兹湾表层水体中生物硅含量的年际变化及其与全球气候事件的关系\*

扈传昱<sup>1,2</sup> 韩正兵<sup>1,2</sup> 孙维萍<sup>1,2</sup> 陈际雨<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室 杭州 310012; 2. 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

**摘要** 利用中国南极科学考察期间获得的颗粒物样品,对南大洋普里兹湾海域水体中生物硅的含量分布及年际变化情况进行了分析。研究结果显示:在 2013 年夏季普里兹湾表层水体中生物硅含量在  $0.38\text{—}8.62\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  之间变化,平均为  $1.55\pm 1.86\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。生物硅在  $67^\circ\text{S}$  以南湾内区域表层水体中的含量明显高于  $67^\circ\text{S}$  以北的湾外区域,最大值出现在普里兹湾陆架区,生物因子是表层水体生物硅含量分布的主控因子。根据不同年份即 25、26、27、28、29 次南极科学考察期间获取的数据研究显示,普里兹湾表层水体中生物硅含量存在明显的年际差异。历史数据分析结果表明,气候事件对普里兹湾海冰变化有明显的影响,因而对相应年份该海域浮游植物数量和种群结构也会产生一定的影响,从而导致表层水体中生物硅含量的年际差异。

**关键词** 生物硅; 颗粒物; 浮游植物; 普里兹湾; 气候事件

**中图分类号** P736.4 **doi:** 10.11693/hyhz20140700207

生物硅(biogenic silica, BSi)主要来源于硅藻、放射虫、硅质鞭毛藻和海绵骨针等,其中硅藻是海洋表层生物硅的主要生产者。在南大洋,硅藻是生物泵的重要组成部分,输送到深海的有机碳通量一半以上是由硅藻贡献(Nelson *et al*, 1995; Sigmon *et al*, 2002)。因此进行南大洋生物硅的生物地球化学关键过程研究,有助于我们更好地理解南大洋碳循环的时空变化。普里兹湾所在的南大洋印度洋扇形区是典型的边缘海冰区,是除威德尔海、罗斯海之外最大的海湾。然而相对于威德尔海、罗斯海海域,在普里兹湾开展的有关生物硅的研究还非常薄弱。扈传昱等(2012)利用中国第 27 次南极科学考察期间获得的颗粒物样品,对南大洋普里兹湾海域水体中颗粒态生物硅(particulate biogenic silica, PBSi)的含量及分布特征进行了初步研究,分析了该海域颗粒态生物硅与营养盐、浮游植物以及颗粒有机碳之间的关系。本文在上述研究的基础上,结合中国第 25、26、27、28、29 次南极科学考察期间获取

的数据,重点探讨了普里兹湾表层水体中 PBSi 含量的年际变化情况及其与气候事件的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

本研究中的样品采集于中国第 25、26、27、28、29 次南极科学考察航次(表 1),5 个航次样品的站位位于南大洋普里兹湾以及邻近海域,这些站位贯穿研究海域的深海区、陆坡区、毗邻陆架区和湾内近岸区。图 1 为 25—29 航次采样站位图。

采集的海水样品(1.5L)经 Nucleopore 聚碳酸酯膜(孔径  $0.40\mu\text{m}$ , 直径 47mm)过滤,收集 PBSi 样品,过滤后将滤膜放入膜盒冷冻保存,回实验室分析。叶绿素 *a*(chl *a*)样品采用 Whatman GF/F 膜过滤,滤膜冷冻保存后分析。

### 1.2 样品分析

对水体中悬浮颗粒态生物硅(PBSi)的测定通常

\* 国家自然科学基金项目,41206182 号,41406219 号,41306202 号,41376173 号;国家海洋局二所基本科研业务费项目,JT1405 号,JG1313 号;南北极环境综合考察与评估专项项目,CHINARE2014-04-01 号,CHINARE2014-04-04 号,CHINARE2014-01-04 号。扈传昱,研究员, E-mail: hcysio@163.com

收稿日期: 2014-07-25, 收修改稿日期: 2014-10-15

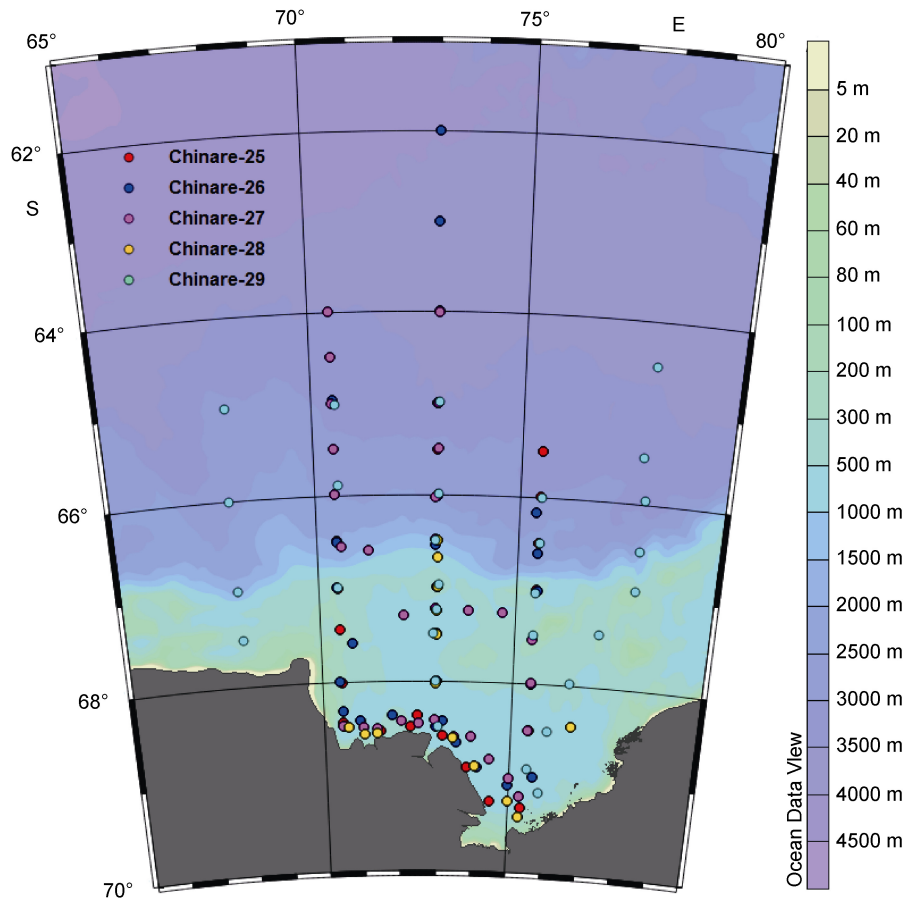


图1 普里兹湾水体中生物硅采样站位图(25—29航次)

Fig.1 Locations of PBSi sampling in the Prydz Bay (CHINARE-25—29)

表1 南极考察25—29航次大面站采样时间

Tab.1 The sampling time during the CHINARE cruises (25—29)

航次	采样时间
25(2008/2009)	2009. 2. 7—26
26(2009/2010)	2009. 12. 22—28; 2010. 2. 13—26
27(2010/2011)	2010. 12. 31—2011.01.06; 2011. 1. 11—16
28(2011/2012)	2012. 2. 27—3. 4
29(2012/2013)	2013. 1. 31—3. 3

根据样品来源而定, 基于前人提出的热 NaOH 提取法的基础上, Tréguer 等人(1992)提出了适合大洋水体中的 PBSi 的测定方法。此法简单、灵敏度高, 本研究即采用这种测定方法。具体步骤为: 将过滤有生物硅的滤膜 1/4 对折, 放入 10mL 塑料离心管中, 加 0.2mol/L NaOH 溶液混匀, 在 95°C 水浴中提取 45min, 取出, 冷却至室温加 HCl 中和, 离心后按照《海洋调查规范》(GB / 12763.4 2007)测定上清液中的硅酸盐含量。chl *a* 样品的测定采用《海洋调查规范》(GB / 12763.6 2007)中的萃取荧光法, 利用唐纳荧光计 (Turner Designs, Model 10 灵敏度为 0.025 $\mu\text{g/L}$ )测定。

### 1.3 遥感数据及图片获取

MEI(Multivariate ENSO Index)数据来源于 <http://www.cdc.noaa.gov/Bkew/MEI/mei.html>; 普里兹湾内海域表层水体中 chl *a* 浓度数据(72°—78°E, 67°—69°S)来源于 [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=ocean\\_month](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=ocean_month); 本文所采用的遥感海表 chl *a* 浓度和遥感海表温度(SST)资料均来自于美国国家航天航空局(NASA)MODIS-Aqua 卫星 (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>)。其中遥感图片中 chl *a* 浓度数据为每月平均值(即 12 月平均值, 1 月平均值, 2 月平均值, 3 月平均值), 其它遥感 chl *a* 浓度数据为普里兹湾夏季平均值(即 12 月—3 月期间平均值)。

## 2 结果

### 2.1 2009—2013 年普里兹湾表层水体中 PBSi 的含量变化

根据 CHINARE-29 航次获取的数据可知, 在 2013 年夏季普里兹湾海域表层水体中 PBSi 的含量在

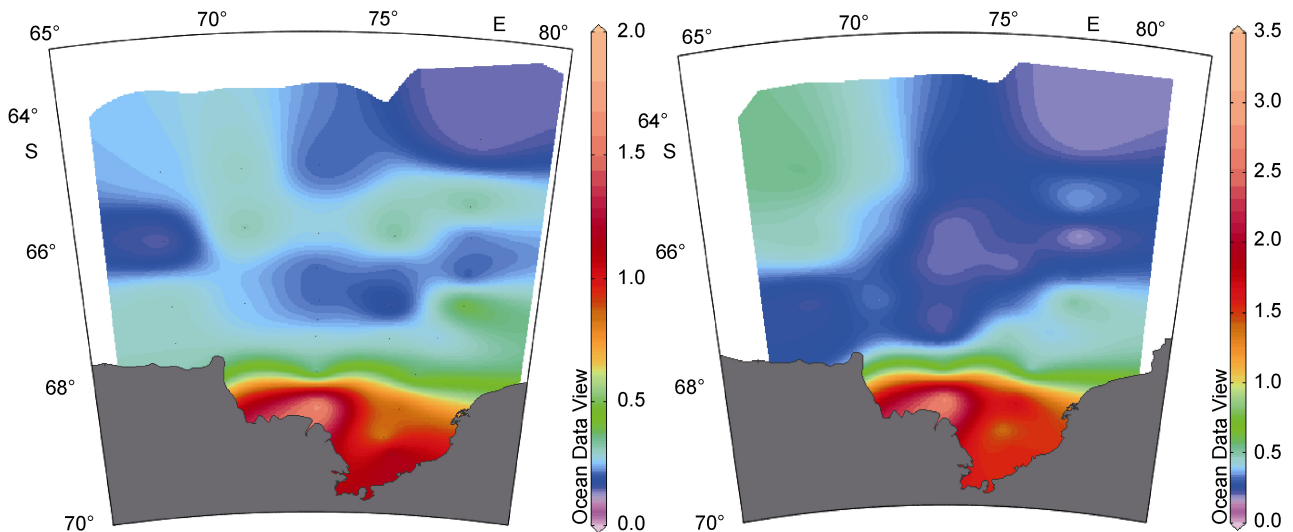


图2 CHINARE-29 航次获取的 2013 年夏季普里兹湾表层 PBSi ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , a) 以及 chl *a* ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ , b) 含量分布图  
Fig.2 Distributions of PBSi ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , a) and chl *a* ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ , b) contents in the surface water of Prydz Bay in austral summer of 2013 during CHINARE-29

0.38—8.62 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  之间变化, 平均含量为  $1.55 \pm 1.86 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , 图 2a 是表层水体中 PBSi 含量分布图, 由图可知在普里兹湾表层水体中 PBSi 的分布趋势是 67°S 以南湾内含量明显高于 67°S 以北的湾外海域, 这种分布趋势与扈传昱等(2012)报道的普里兹湾表层水体生物硅的分布一致。朱根海等(1995)、孙军等(2003)的研究认为普里兹湾及邻近海域微小型浮游植物各类别的组成比率和细胞丰度以硅藻类占绝对优势, 其种类占总种类数的 73.0%; 微小型浮游植物的细胞丰度, 硅藻类占 99.75%, 处于绝对优势。有研究表明 PBSi 能很好的反映水体中的硅藻细胞生物量, 从而成为记载水体中初级生产力的有力手段(Leblanc *et al.*, 2002; Nelson *et al.*, 2002; Umani *et al.*, 2002)。普里兹湾浮游植物的旺发主要发生在陆架区、海冰边缘区, 67°S 以南海域 chl *a* 浓度明显高于 67°S 以北海域(图 2b)。普里兹湾表层水体中 PBSi 的分布趋势与表层 chl *a* 浓度的水平分布基本吻合。根据扈传昱等人(2012)的研究, 在普里兹湾上层水体中 PBSi 的分布状态与生物活动关系密切, 充分显示出夏季普里兹湾生物因子对 PBSi 的主控作用。

对 2009 至 2013 年即 CHINARE-25, 26, 27, 28, 29 航次期间获得的普里兹湾表层水体中 PBSi 的数据进行了对比, 图 3 为 2009 年至 2013 年期间普里兹湾海域 67°S 以南及以北海域夏季表层 PBSi 平均含量变化示意图, 由图可知在 2009—2013 年夏季期间, 普里兹湾湾内以及湾外海域表层 PBSi 平均含量均呈现一

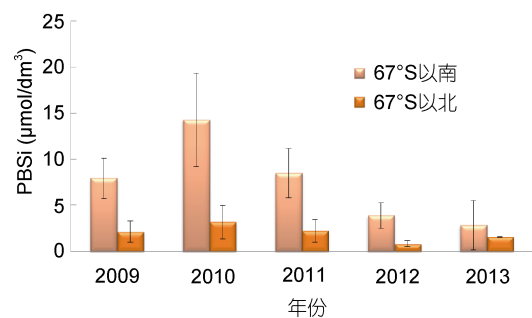


图3 普里兹湾湾内以及湾外海域表层 PBSi 含量年际变化趋势( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )

Fig.3 Interannual difference of PBSi contents in the surface water of inner areas and outer areas of Prydz Bay( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )

定的年际差异, 湾内平均含量在每个年份均高于湾外海域。湾内和湾外的 PBSi 平均值的最高值均出现在 2009/2010 年夏季, 分别为  $14.32 \pm 5.07 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ,  $3.21 \pm 1.82 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ; 相对于其它年份 2012/2013 年夏季是 PBSi 平均含量最低的年份, 湾内仅为  $2.86 \pm 2.68 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , 湾外则为  $0.87 \pm 0.31 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。其它年份中 2008/2009 年和 2010/2011 年湾内 PBSi 的平均含量相近分别为  $7.63 \pm 2.17 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$  和  $8.53 \pm 2.67 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , 为次高值年份, 湾外海域亦此。普里兹湾湾内海域近年来 PBSi 的含量变化, 与研究人员报道的夏季威德尔海海域 PBSi 的含量范围 0.1—18.9 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  相近(Pasquer *et al.*, 2010), 而与 Ross 海海域春季 PBSi 的平均含量 21.7 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  相比明显较低(Nelson *et al.*, 1986)。

## 2.2 2009-2013 年普里兹湾表层水体中 chl *a* 的含量变化

图 4 为 2009—2013 年夏季调查期间, 普里兹湾湾内及湾外实测的表层水体中 chl *a* 平均含量变化图, 可知在 2009—2013 年期间, 普里兹湾湾内以及湾外表层水体中 chl *a* 的平均含量的最高值同样出现在 2009/2010 年夏季, 分别为  $5.28 \pm 2.16 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  和  $0.93 \pm 0.87 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , 2008/2009 和 2010/2011 年 chl *a* 平均含量也出现明显下降但是亦为平均值的次高值年份。在最低值出现的年份上湾内最低值同样出现在 2012/2013 年夏季平均为  $0.99 \pm 0.96 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , 而湾外平均含量的最低值则出现在 2011/2012 年的夏季为  $0.22 \pm 0.02 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 。

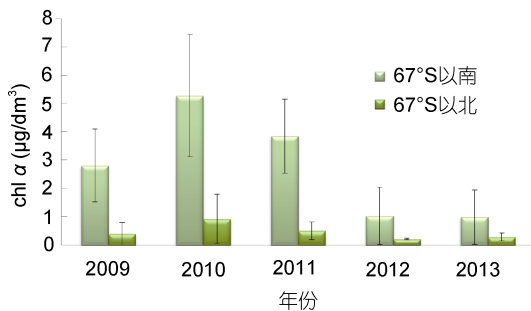


图 4 普里兹湾湾内以及湾外海域表层 chl *a* 含量年际变化趋势(µg/dm<sup>3</sup>)

Fig.4 Interannual difference of chl *a* contents (µg/dm<sup>3</sup>) at surface water of inner areas and outer areas of Prydz Bay

在 2012 以及 2013 年度的调查时间基本上在 2 月底 3 月初(表 1), 已为南极夏季的尾声, 因此在这两个年份 chl *a* 浓度明显较低与调查时间有一定的关系。每年的 chl *a* 平均浓度数据显示, 普里兹湾湾内湾外海域表层 chl *a* 平均含量与 PBSi 的平均含量的年际变化趋势非常一致, 因此我们认为, 在普里兹湾浮游植物的生长旺发的年际差异是造成不同年度 PBSi 含量的变化的主要原因。而在南大洋由于浮游植物生长受众多因素的制约, 因此生物硅的生产也是受综合因素控制。

## 3 讨论

南大洋海冰区的生态系统是全球气候变化的重要响应与反馈窗口, 海冰是全球大气—海洋环流以及气候变化之间的重要纽带, 同时也对海冰区生态系统中海洋生物具有重要影响, 目前对相关研究已经取得很多成果, 其中南极海冰变化与 ENSO 的关系尤为引人注目, 而由此引发的南大洋海冰区生态系统生物地球化学过程的响应更是值得深入研究。据文

献报道, 南极海冰变化与 ENSO 循环过程存在一定的联系(陈锦年等, 2003; Arrigo *et al.*, 2004a), 浮游植物的生长和群落结构变化与全球气候变暖及 ENSO 也相应地存在一定的关联; 海洋初级生产力异常变化与多元 ENSO 指数(Multivariate ENSO Index, MEI)有很显著的相关性。其它研究则指出厄尔尼诺事件会通过大气遥相关过程使南大洋海域温度产生变化(Arrigo *et al.*, 2003, 2004b), 在陆架区海冰的消融会比正常时段早, 开阔水域面积增加, 相应地浮游植物会提前旺发, 其中若干浮游植物对厄尔尼诺事件响应十分快速, 而在拉尼娜年, 明显滞后于其他年份, 且叶绿素 *a* 的浓度也低于其它年份。基于这种现象我们将普里兹湾调查期间的 MEI 以及 chl *a* 浓度的变化做了分析。图 5 为调查期间 MEI 值随时间变化图, 正值越大表明厄尔尼诺倾向越强, 负值越大表明拉尼娜倾向越强, 图中还给出了相应的时间内遥感获取的普里兹湾表层水体中 chl *a* 含量的变化(方点)。从图中可以看出遥感 chl *a* 浓度与 MEI 的时间序列具有一定的相关性, 基本上呈现为 MEI 高的年份对应的 chl *a* 浓度也高的趋势。表明普里兹湾海域浮游植物生长与 ENSO 事件有一定的联系, 即在厄尔尼诺年普里兹湾浮游植物生产要高于拉尼娜年。

为了验证上述推测, 我们对收集整理的中国南极考察历史调查数据进行了分析。结果显示在 1992 年 12 月—1993 年 2 月普里兹湾采集浮游植物期间, 正处在厄尔尼诺事件过程中(王绍武等, 1999), 经鉴定该时期浮游植物共有 5 门 34 属 95 种, 其中硅藻占 76.6%, 与 2002 年 1—2 月的正常年份获取的数据相比(表 2), 浮游植物群落的物种组成发生了变化种群

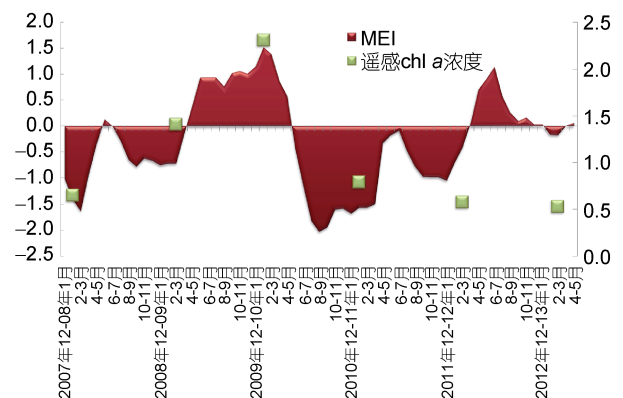


图 5 2007 年 12 月至 2012 年 5 月 MEI 值序列以及遥感 chl *a* 浓度变化(µg/dm<sup>3</sup>)

Fig.5 Data of MEI and remote sensing data of chl *a* (µg/dm<sup>3</sup>) from December of 2007 to May of 2012

表 2 在厄尔尼诺/拉尼娜年期间普里兹湾浮游植物的种类组成、细胞丰度以及与正常年份对比

Tab.2 Variations in species composition and abundance of phytoplankton in Prydz Bay during El Niño, La Niña and normal periods

事件	厄尔尼诺影响 (1993/01—1993/09)	拉尼娜年影响 (1998/06—1999/12)	正常年份
实测时间	1992/12—1993/02	1998/12—1999/01	2002/01—2002/02
调查海区	62°—69°S 58°—83°E	63°—69°S 70°—75°E	62°—69°S 68.5°—76.8°E
浮游植物种类数	5 门 34 属 95 种	5 门 20 属 36 种	3 门 37 属 87 种
浮游植物优势种	圆柱菱形藻 巴克氏菱形藻	短菱形藻 —	克格伦拟脆杆藻 —
平均细胞丰度	$38.75 \times 10^3$ 个/dm <sup>3</sup>	$4.02 \times 10^3$ 个/dm <sup>3</sup>	$8.80 \times 10^3$ 个/dm <sup>3</sup>
硅藻门	76.6%	61.1%	68.6%
参考文献	宁修仁, 1998	蔡昱明等, 2005	邱雨生等, 2004

数量增加, 高于正常年份的 3 门 37 属 87 种。浮游植物细胞丰度为  $38.75 \times 10^3$  个/dm<sup>3</sup>, 明显高于正常年份的  $8.80 \times 10^3$  个/dm<sup>3</sup>; 硅藻占优势, 比例也有一定的升高, 优势种群为圆柱菱形藻和巴克氏菱形藻, 在正常年份则为克格伦拟脆杆藻。1998 年 12 月—1999 年 1 月南极调查时间则处于强度较大的拉尼娜事件范围中, 期间浮游植物种类组成经鉴定共有 5 门 20 个属 36 种, 种群数量显著减少, 细胞丰度值  $4.02 \times 10^3$  个/dm<sup>3</sup> 也明显低于正常年和厄尔尼诺年; 硅藻占总量的比例下降为 61.1%, 优势种群为短菱形藻。根据以上历史数据表明厄尔尼诺/拉尼娜事件对普里兹湾的浮游植物生长以及种群结构有一定影响。

本文对普里兹湾表层水体中生物硅含量的研究结果显示, 2009—2010 年夏季生物硅含量在几个年份中最高, 对照图 5 的 MEI 值可以看出, 在 2009 年 12 月—2010 年 2 月调查期间对应的是厄尔尼诺事件。遥感数据及影像(表 3, 图 6)表明, 在 2009 年 12 月份普里兹湾海域湾内陆架区温度明显升高, 海冰开始融化并有形成冰间湖的趋势。普里兹湾湾内夏季平均温度为  $0.01^\circ\text{C}$ , 高于整个陆坡区以及深海区温度

$-0.14^\circ\text{C}$ , 也明显高于正常时段(2008/2009 夏季)(表 3, 图 7), 到了 1 月份海冰基本完全消融。浮游植物在 12 月就开始大面积旺发, 明显高于 1 月, 到 2 月逐渐减弱, 而 3 月浮游植物仅在海冰边缘区还有一定的生长, 海冰已经开始形成。与正常年份相比浮游植物旺发峰值时间提前到了 12 月而非的 1 月。根据实测的普里兹湾 chl *a* 浓度资料显示, 在这个夏季不仅是表层, 在 0—50m 层处 chl *a* 浓度的高值区域也扩展到了  $66^\circ\text{S}$ (金思韵等, 2012), 同期利用遥感获取的夏季 chl *a* 含量平均值明显高于其它年份, 而相应的普里兹湾实测 PBSi 的时间刚好处在旺发时间的 12 月底, 因此含量与其它年度相比也呈现峰值状态。

对照图 5 的 MEI 值可知, 在 2010/2011 年的夏季对应的气候事件为拉尼娜事件, 相应地普里兹湾各个区域的海表温度与厄尔尼诺年份以及正常年份(表 3, 图 8)相比都明显偏低, 且在湾内陆架区仍为大部分海冰覆盖没有形成冰间湖, 整个夏季温度平均值为  $-0.95^\circ\text{C}$ , 湾外海域虽然略高为  $-0.77^\circ\text{C}$ , 但相对于正常年份仍属于低温, 在 1 月份仍有一定程度的海冰覆盖。浮游植物在 12 月仅在很小的区域开始生长, 直

表 3 在厄尔尼诺/拉尼娜年期间普里兹湾温度、chl *a* 浓度、PBSi 数据以及与正常年份对比Tab.3 Variations in SST and chl *a*, PBSi concentrations in Prydz Bay during El Niño, La Niña, and normal periods

区域	项目	厄尔尼诺影响 (2009/04—2010/04)	拉尼娜年影响 (2010/05—2011/03)	正常年份
	调查时间	2009/12—2010/02	2010/12—2011/01	2009/02
67°S 以南	遥感温度	0.01	-0.95	-0.43
	遥感 chl <i>a</i> 浓度	2.31	0.79	1.41
	实测 PBSi	14.32	8.53	7.98
67°S 以北	遥感温度	-0.14	-0.77	0.04
	遥感 chl <i>a</i> 浓度	0.54	0.25	0.37
	实测 PBSi	3.21	2.26	2.18

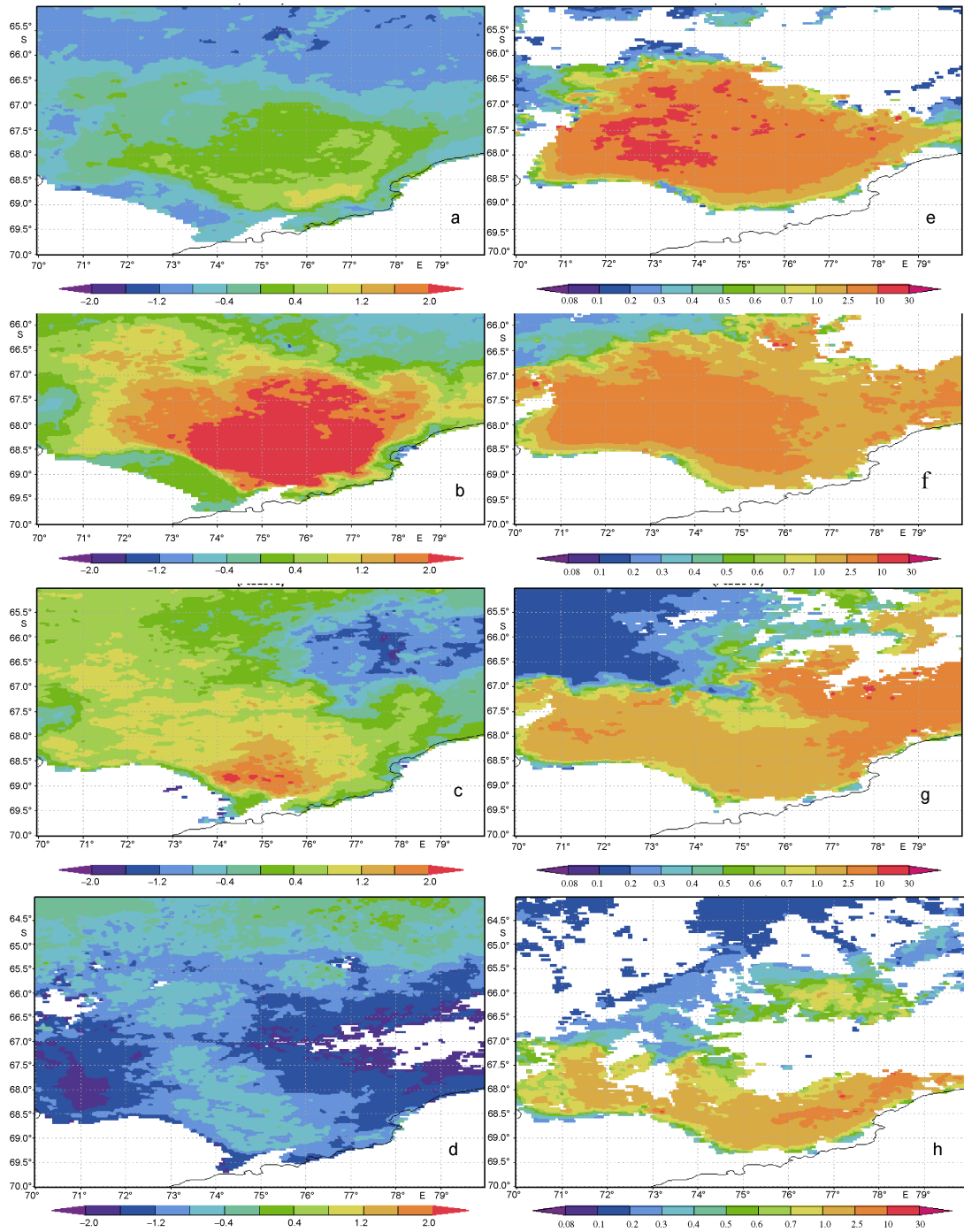


图6 2009年12月至2010年3月普里兹湾海表温度(°C, 其中图a为2009年12月, 图b为2010年1月, 图c为2010年2月, 图d为2010年3月)与2009年12月份至2010年3月份chl *a* 浓度(mg/m<sup>3</sup>, 其中图e为2009年12月, 图f为2010年1月, 图g为2010年2月, 图h为2010年3月)遥感分布图

Fig.6 MAMO\_SST\_4km.CR sea surface temperature(°C, a—d) and MAMO\_CHLO\_4km.CR chlorophyll *a* concentration(mg/m<sup>3</sup>, e—h) in surface water of Prydz Bay 2009. 12—2010. 3

到2011年的1月才逐渐扩展开始大量旺发, 到了2月整个海湾海冰才基本融化, 浮游植物相应地继续旺发, 在时间上明显滞后于厄尔尼诺年份的12月以及正常年份的1月, 到了3月海冰已经基本全部覆盖

了整个海湾, 其覆盖程度也远大于厄尔尼诺年份以及正常年份, 仅在冰间湖区域有小范围浮游植物生长。遥感获取的普里兹湾夏季chl *a* 浓度明显低于2009/2011年夏季, 浮游植物的旺发区域仅局限在

67°S 以南, 相应的实测 PBSi 也明显降低, 但是由于湾内现场取样时间为 1 月, 是最大旺发时间, 因此相

对于 2008/2009 年的正常年份(取样时间为 2 月)的湾内 PBSi 仍略高。

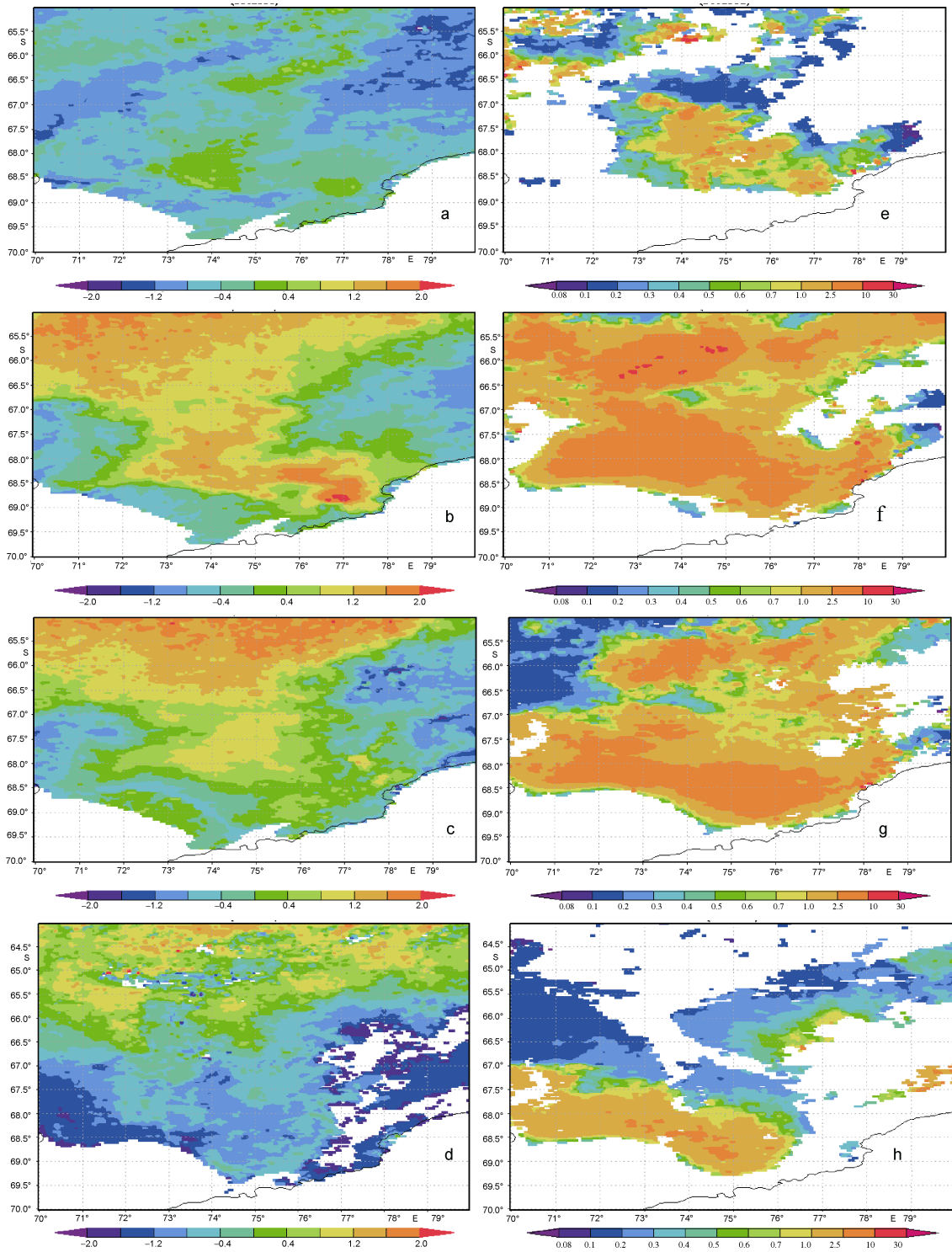


图 7 2008 年 12 月份至 2009 年 3 月份普里兹湾海表温度(°C, 其中图 a 为 2008 年 12 月, 图 b 为 2009 年 1 月, 图 c 为 2009 年 2 月, 图 d 为 2009 年 3 月)与 2009 年 12 月份至 2010 年 3 月份 chl a 浓度(mg/m³, 其中图 e 为 2008 年 12 月, 图 f 为 2009 年 1 月, 图 g 为 2009 年 2 月, 图 h 为 2009 年 3 月)遥感分布图

Fig.7 MAMO\_SST\_4km.CR sea surface temperature(°C, a—d) and MAMO\_CHLO\_4km.CR chlorophyll a concentration(mg/m³, e—h) in surface water of Prydz Bay 2008. 12—2009. 3

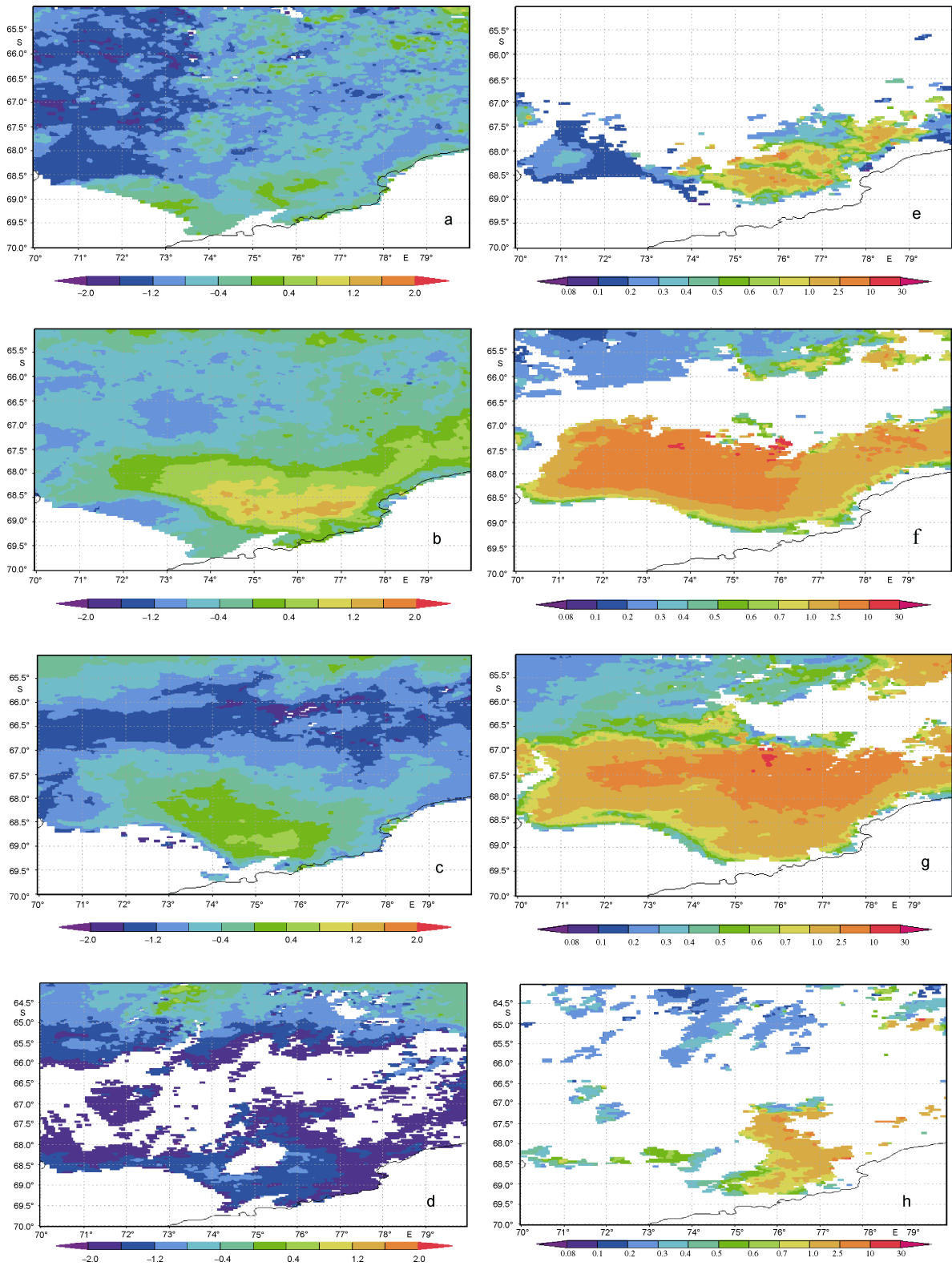


图 8 2010 年 12 月至 2011 年 3 月普里兹湾海表温度( $^{\circ}\text{C}$ , 其中图 a 为 2010 年 12 月, 图 b 为 2011 年 1 月, 图 c 为 2011 年 2 月, 图 d 为 2011 年 3 月)与 2009 年 12 月份至 2010 年 3 月份 chl a 浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ , 其中图 e 为 2010 年 12 月, 图 f 为 2011 年 1 月, 图 g 为 2011 年 2 月, 图 h 为 2011 年 3 月)遥感分布图

Fig. 8 MAMO\_SST\_4km.CR sea surface temperature( $^{\circ}\text{C}$ , a—d) and MAMO\_CHLO\_4km.CR chlorophyll a concentration ( $\text{mg}/\text{m}^3$ , e—h) in surface water of Prydz Bay 2010. 12—2011. 3



根据以上历史数据及现有数据, 我们认为气候变化会对普里兹湾的海冰变化产生一定的影响, 而相应地普里兹湾浮游植物在数量、种群结构上也会改变, 从而影响 PBSi 的含量与分布。

#### 4 结论

在 2013 年夏季, 普里兹湾海域表层 PBSi 的含量在  $0.38\text{—}8.62\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  之间, 在  $67^\circ\text{S}$  以南湾内海域明显高于  $67^\circ\text{S}$  以北的湾外海域, 与表层 chl *a* 浓度的分布趋势基本吻合。在普里兹湾生物因子是 PBSi 含量分布的主控因子。根据多个航次的数据对比, 在普里兹湾 PBSi 的含量存在一定的年际变化, 这种变化与 chl *a* 浓度的年际变化趋势相同。分析表明在厄尔尼诺事件发生时普里兹湾海冰消退早于正常年份, 相应的浮游植物生长也强于正常年份; 而在拉尼娜事件发生期间普里兹湾海冰消退晚于正常年份, 同时浮游植物生长也弱于正常年份。结合南极考察有关普里兹湾浮游植物生物量种群结构的历史数据与相应的气候事件, 发现气候事件对普里兹湾的海冰变化产生一定影响, 而相应地浮游植物在数量、种群结构上也会随海冰发生变化, 从而对 PBSi 的含量与分布也产生影响。因此在 2009/2010 夏季, 受厄尔尼诺事件影响, 在普里兹湾表层水体中 PBSi 的含量明显高于受拉尼娜事件影响的年份和正常年份。

#### 参 考 文 献

- 王绍武, 龚道溢, 1999. 近百年来的 ENSO 事件及其强度. 气象, 2(1): 9—13
- 宁修仁, 1998. 南大洋特定海域浮游植物现存量 and 初级生产力结构研究. 见: 中国海洋文学文集 北京: 海洋出版社, 67—79
- 朱根海, 宁修仁, 陈忠元等, 1995. 1991/1992 年夏季南极普里兹湾邻近海域网采浮游植物的聚类分析. 南极研究(中文版), 7(2): 38—44
- 孙 军, 刘东艳, 宁修仁等, 2003. 2001/2002 年夏季南极普里兹湾及其邻近海域的浮游植物. 海洋与湖沼, 34(5): 519—532
- 邱雨生, 黄奕普, 刘广山等, 2004. 南极普里兹湾及邻近海域初级生产力的时空变异. 厦门大学学报(自然科学版), 43(5): 676 - 681
- 陈锦年, 褚健婷, 许兰英, 2003. 南极气候和海冰的时空变化特征及其与太平洋海温场的关系. 海洋学报, 25(6): 39—47
- 金思韵, 潘建明, 韩正兵, 2012. 南极夏季普里兹湾叶绿素 *a* 的时空变化的研究. 极地研究, 24(4): 361—371
- 扈传昱, 韩正兵, 薛 斌等, 2012. 2011 年夏季南大洋普里兹湾颗粒态生物硅的分布与变化特征. 极地研究, 24(3): 247—253
- 蔡昱明, 宁修仁, 朱根海等, 2005. 南极普里兹湾浮游植物现存量与初级生产力粒级结构和生产力研究. 海洋学报, 27(4): 135—147
- Arrigo K R, van Dijken G L, 2003. Phytoplankton dynamics within 37 Antarctic coastal polynya systems. Journal of Geophysical Research: Oceans (1978—2012), 108(C8), doi: 10.1029/2002JC001739
- Arrigo K R, van Dijken G L, 2004a. Annual changes in sea-ice, chlorophyll *a*, and primary production in the Ross Sea, Antarctica. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 51(1—3): 117—138
- Arrigo K R, Thomas D N, 2004b. Large scale importance of sea ice biology in the Southern Ocean. Antarctic Science, 16(4): 471—486
- Bakker D, Watson A, 2001. Global change: A piece in the CO<sub>2</sub> jigsaw. Nature, 410(6830): 765—766
- Leblanc K, Quéguiner B, Fiala M *et al*, 2002. Particulate biogenic silica and carbon production rates and particulate matter distribution in the Indian sector of the Subantarctic Ocean. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 49(16): 3189—3206
- Nelson D M, Smith W O, 1986. Phytoplankton bloom dynamics of the western Ross Sea ice edge-II. Mesoscale cycling of nitrogen and silicon. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 33(10): 1389—1412
- Nelson D M, Tréguer P, Brzezinski M A *et al*, 1995. Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: Revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. Global Biogeochemical Cycles, 9(3): 359—372
- Nelson D M, Anderson R F, Barber R T *et al*, 2002. Vertical budgets for organic carbon and biogenic silica in the Pacific sector of the Southern Ocean, 1996—1998. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 49(9—10): 1645—1674
- Pasquer B, Mongin M, Johnston N *et al*, 2010. Distribution of particulate organic matter (POM) in the Southern Ocean during BROKE-West ( $30^\circ\text{E}\text{—}80^\circ\text{E}$ ). Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 57(9—10): 779—793
- Sigmon D E, Nelson D M, Brzezinski M A, 2002. The Si cycle in the Pacific sector of the Southern Ocean: seasonal diatom production in the surface layer and export to the deep sea. Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography, 49(9—10): 1747—1763
- Tréguer P, Nelson D M, Brzezinski M A *et al*, 1992. Protocol for determination of biogenic and lithogenic silica in particulate matter. SO-JGOFS core parameter, International Rep, 4
- Umami S F, Accornero A, Budillon G *et al*, 2002. Particulate matter and plankton dynamics in the Ross Sea Polynya of Terra Nova Bay during the Austral Summer 1997/98. Journal of Marine Systems, 36(1—2): 29—49

## INTERANNUAL CHANGE OF BIOGENIC SILICON CONTENTS IN SURFACE WATER OF PRYDZ BAY DURING 2009—2013 AND ITS RELATIONSHIP TO GLOBAL CLIMATE EVENTS

HU Chuan-Yu<sup>1,2</sup>, HAN Zheng-Bing<sup>1,2</sup>, SUN Wei-Ping<sup>1,2</sup>, CHEN Ji-Yu<sup>1,2</sup>

(1. *Lab of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, SOA, Hangzhou 310012, China*; 2. *Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China*)

**Abstract** To understand the relationship between annual change of particulate biogenic silica (PBSi) contents in Prydz Bay in Antarctic and global climate events, we studied the contents and distributions of PBSi in surface water of the bay during the CHINARE cruises from 2009 to 2013. The results show that in austral summer of 2013, the contents of biogenic silica ranged 0.23—8.62 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  in average of  $1.55\pm 1.86\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , and the distribution of surface PBSi showed clear regional patterns, higher concentrations in the area south of 67°S and lower in the area north. The interannual difference of PBSi content in the surface water of the bay was obvious during 2009—2013. In addition, historical data show that the global climate events affected clearly the variation of sea ice in the Antarctic, and the local population structures of phytoplankton changed correspondingly, resulting in the interannual difference in PBSi concentration and distribution in the sea surface.

**Key words** biogenic silica; particle; phytoplankton; Prydz Bay; climate event