

# 东海二甲基硫丙酸的分布及其制约因素的初步研究\*

焦念志 柳承璋 陈念红

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

**提要** 于 1994 年 4 月对东海水域二甲基硫丙酸(DMSP)浓度进行观测,结合对叶绿素和营养盐的监测结果,分析研究了 DMSP 分布及其调控因素。结果表明,DMSP 浓度范围为 0.17—5.66nmol/L,最高浓度出现于 410 站(125.0°E, 29.3°N)。垂直分布浓度最大层出现在表层 20m 以内。DMSP 分布与叶绿素 *a* 的分布基本一致,与硝酸氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ )的关系在  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度小于 0.5 $\mu\text{mol/L}$  时呈正相关,而在  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度高于 10 $\mu\text{mol/L}$  时呈负相关。

**关键词** 二甲基硫丙酸 叶绿素 *a* 硝酸氮 东海

**学科分类号** Q178.53

二甲基硫丙酸(DMSP)是海洋浮游植物的代谢产物,是二甲基硫(DMS)的前体,而后者是海水中含量最丰富的挥发性硫化物。DMS 由海水释放到大气中后,氧化生成甲基磺酸盐、二甲亚砷等,并进一步形成硫酸盐气溶胶,后者是重要的云凝结核,与阳伞效应关系密切,对全球变化有重要影响。同时 DMS 与酸雨、酸雾的形成也有关。因此对 DMS 的研究在国际上广受关注。关于海洋中 DMSP / DMS 浓度变化的调控机制,目前已有较多研究。Keller 等(1989)认为海区浮游植物的种类组成差别是 DMSP 产率不同的原因,Karsten 等<sup>1)</sup>描述了光强度和温度对海水中 DMSP 积聚的影响,Dickson 等(1986)探讨了盐度对 DMSP / DMS 的影响,Turner 等(1988)报道硝酸盐浓度可以改变藻类 DMSP 含量。东海海区受黑潮、台湾暖流、黄海冷涡和长江径流等物理过程的强烈影响,生态环境较为复杂,具有重要的研究价值。Yang 等(1996)曾对东海水域的 DMS 进行了观测,描述了 DMS 的分布情况,指出浮游植物可能是 DMS 分布的控制因子,但并未给出浮游植物数据和统计分析。本文在对东海水域 DMSP 自然分布调查的同时对叶绿素和营养盐的分布也进行同步监测,以期对 DMSP 的分布规律及其调控机制进行分析探讨。

\* 国家杰出青年基金资助项目,39625008 号;国家自然科学基金资助项目,39570143 号。焦念志,男,出生于 1962 年 12 月,博士,研究员,E-mail: jiao@ms.qdio.ac.cn

1) Karsten U, Wiencke C, Kirst G O, 1991. The effect of light intensity and daylength on the  $\beta$ -dimethylsulfoniopropionate (DMSP) content of marine green macroalgae from Antarctica. *Pl Cell Environ* (in press)

收稿日期: 1998-12-25, 收修改稿日期: 1999-03-24

### 1 材料与方 法

于 1994 年 4 月 JGOFS 春季航次(科学一号)对东海海区进行调查,航线站位见图 1a.

#### 1.1 采 水

用 Niskin 采水器采集真光层(20—100m)以上水样,DMSP 样品以 GF / F 膜在低负压(0.03MPa)下抽滤海水 500—1 000ml,在 - 30℃ 密封速冻保存至分析.

#### 1.2 样品测定

叶绿素 *a* (Chl. *a*) 浓度按 Parsons 等(1984)的方法,用 Turner Design Model-10 荧光光度计测得;DMSP 的测定按顶空气相色谱法(王永华等,1996),以岛津公司 GC-9A 气相色谱仪、火焰光度检测器(GC / FPD)、C-R2A 数据积分仪测定.测定前经 10mol / L NaOH 处理 12h,然后测定其顶空 DMS.

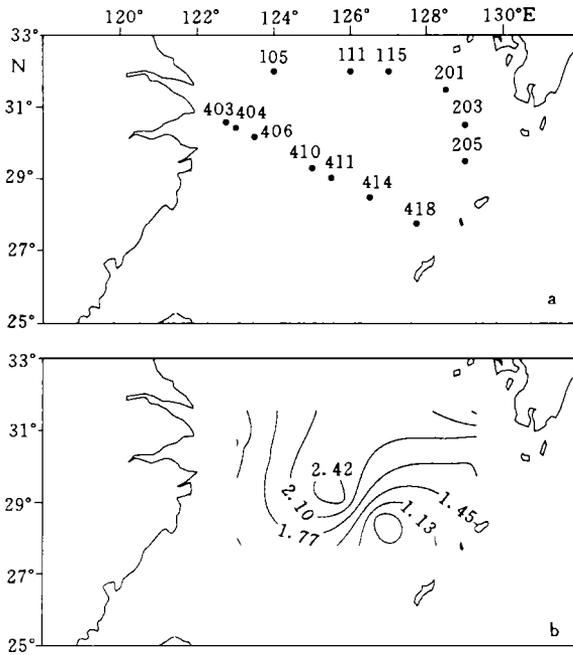


图1 东海调查站位(a)和表层海水DMSP(nmol/L)分布(b)  
Fig.1 Investigation stations (a) and distribution of DMSP (nmol/L) in surface water (b) in the East China Sea

### 2 结 果

#### 2.1 DMSP 浓度分布

调查海区表层海水的 DMSP 浓度最小值 0.55nmol/L 出现在 414 站(127.5°E, 28.5°N), 最大值 2.47nmol / L 出现在 410 站;DMSP 浓度由 410 站向西北方(长江口)和东南方(黑潮区)逐渐降低.此外,在调查海区东北部 201 站附近,DMSP 浓度也较高(图 1b).

DMSP 浓度的垂直分布一般在近表层 20m 内达到最高值,在最高值层之下锐减,约在真光层底部稳定在一个较低的水平上.在黑潮区这种浓度梯度比近岸水域平缓.几个代表性站位的 DMSP 垂直分布见图 2.

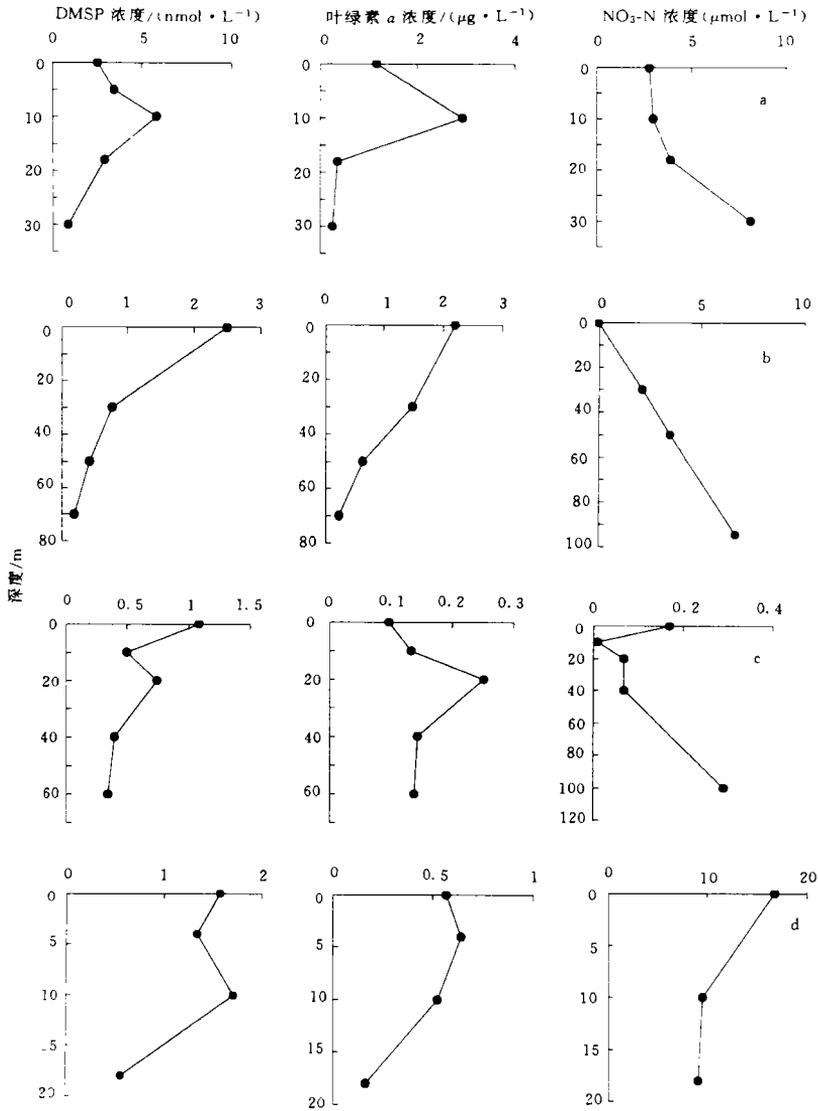


图2 1994年4月东海4个代表站位的DMSP、叶绿素a、NO<sub>3</sub>-N的垂直分布  
 Fig.2 Depth profiles of DMSP, Chl.a and NO<sub>3</sub>-N at 4 stations in the East China Sea  
 a: 410站; b: 411站; c: 418站; d: 404站

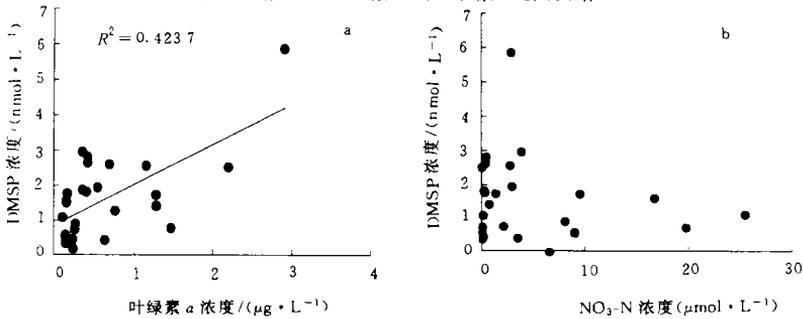


图3 DMSP浓度与叶绿素a(a)、NO<sub>3</sub>-N(b)的关系  
 Fig.3 DMSP concentration as functions of Chl.a (a) and NO<sub>3</sub>-N(b)

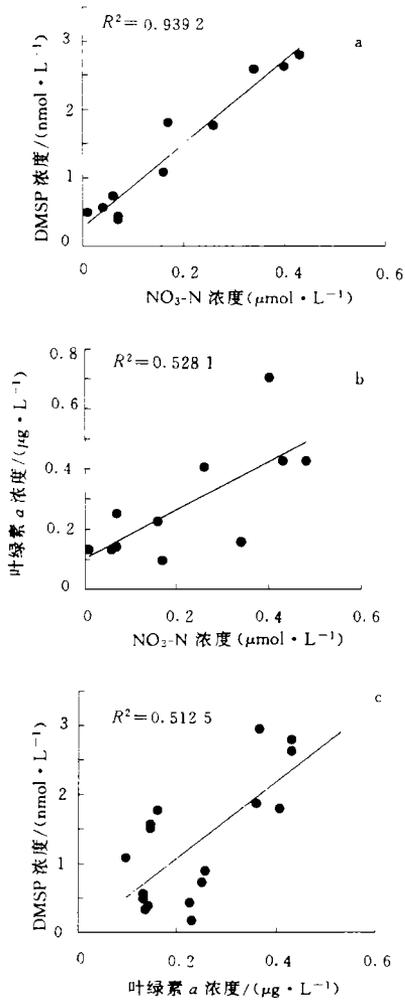


图4 在低NO<sub>3</sub>-N浓度(<0.5μmol/L)情况下DMSP、叶绿素a、NO<sub>3</sub>-N之间的关系

Fig.4 Relationships among DMSP, Chl.a and NO<sub>3</sub>-N at stations where NO<sub>3</sub>-N concentration were lower than 0.5μmol/L

整个海区 DMSP 的浓度变化范围为 0.17—5.66nmol/L, 平均为 1.50nmol/L。最高值出现在寒、暖流交界处的410 站 (125.0°E, 29.3°N)的10m 处。

## 2.2 调控机制

在多数情况下, DMSP的垂直分布与叶绿素a较为一致, 而与硝酸氮(NO<sub>3</sub>-N)分布呈相反的趋势(图2)。纵观整个调查海区, 从大的尺度上考察, DMSP水平分布趋势与叶绿素a基本一致。DMSP与叶绿素a之间存在显著相关关系( $R^2 = 0.4237$ ,  $n = 27$ ,  $\rho = 0.01$ ) (图3a), 而与温度、盐度、磷酸盐等理化参数无显著相关性(数据未列出)。

当考察所有数据时, 在 DMSP 与 NO<sub>3</sub>-N之间未发现显著相关性(图3b)。然而若将数据按 NO<sub>3</sub>-N 浓度分为 <0.5μmol/L 和 >1.0μmol/L 两部分, 再分别考察时则发现, 当 NO<sub>3</sub>-N 浓度<0.5μmol/L 时, DMSP 与 NO<sub>3</sub>-N 之间呈显著的正相关( $R^2 = 0.9392$ ,  $n = 12$ ) (图4a), 而当 NO<sub>3</sub>-N 浓度 > 1.0μmol/L 时, 二者之间存在负相关趋势(图5a)。如果排除水层对这种关系的影响, 而只考虑表层数据, 则发现当 NO<sub>3</sub>-N 浓度 > 1μmol/L 时, DMSP 与 NO<sub>3</sub>-N 之间存在显著的负相

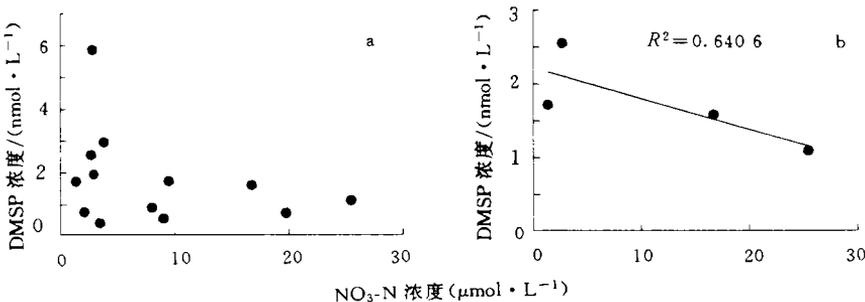


图5 在较高NO<sub>3</sub>-N浓度(>1.0μmol/L)情况下DMSP与NO<sub>3</sub>-N之间的关系

Fig.5 DMSP as a function of NO<sub>3</sub>-N under conditions with high NO<sub>3</sub>-N availability (>1.0μmol/L)

a. 所有水层数据, b. 表层水数据

关( $R^2 = 0.6406, n = 4$ ) (图 5b)。

### 3 讨论

#### 3.1 关于 DMSP 的分布

迄今尚未见有关东海 DMSP 浓度分布的其它报道。与同一海区 1994 年 10 月 DMS 的分布情况 (Yang *et al.*, 1996) 相比较, 二者的垂直分布和水平分布总体趋势基本一致, 表明海水中以颗粒态形式存在的 DMSP 储量与海水中溶解 DMS 丰度有着必然的联系。但二者在水平分布的最大最小值分布以及沿黑潮由南向北的变化趋势上有较大差异。显然季节不同是这种差异的重要原因。另外理化状况对这两种物质生产过程的影响机理的不同也可能是这种差异的原因之一。

#### 3.2 关于 DMSP 的调控机理

因为 DMSP 的载体浮游植物的种类分布和丰度变化受控于海流及其它理化因子, DMSP 浓度分布必然也会受到相应因子的制约。如, DMSP 浓度在陆架锋面区域达到最高, 在近岸河口低透明度区较低, 在高温、高盐的黑潮贫营养区最低。基于同样原因, DMSP 浓度与浮游植物生物量指标叶绿素 *a* 呈正相关是容易理解的。本航次所观测到的 DMSP 和叶绿素 *a* 浓度最高值均出现在 410 站, 该站的初级生产力水平为本航次观测的最高值 (焦念志等, 1998)。但作者注意到若不考虑 410 站的数据, 则由其余数据所得的相关系数则大大降低。前人研究表明, 在较大尺度上, DMS 与初级生产力或叶绿素 *a* 常有较好的相关性 (Andreae *et al.*, 1984); 而在中小尺度上, DMS 与叶绿素 *a* 之间的显著相关性并不多见 (Holligan *et al.*, 1987; Turner *et al.*, 1988)。事实上, 作为细胞渗透压调节物质, 不同的浮游植物种的 DMSP 产率是很不一样的 (Turner *et al.*, 1988), 因而海水 DMSP 的浓度还取决于海区浮游植物优势种组成。此外 DMSP 的生产过程还受光密度 (Karsten *et al.*, 1991)<sup>1)</sup>、温度 (Marcus *et al.*, 1994)、盐度 (Iverson *et al.*, 1989)、营养盐 (Grone, 1992) 等诸多因素的影响。因此, DMSP 与叶绿素 *a* 之间的关系绝不是一种简单的线性关系。

在营养盐因素中, 一个对 DMSP 有特殊作用的营养要素是  $\text{NO}_3\text{-N}$ 。Grone (1992) 曾报道了在实验室条件下限制氮的可得性可以提高藻细胞 DMSP 含量。类似地, Turner 等 (1988) 报道过在实验室条件下, 提高  $\text{NO}_3\text{-N}$  的供应可以降低藻体 DMSP 含量, 并作出如下解释: 在氮盐充足的情况下, 浮游植物通常以含氮的甘氨酸甜菜碱作为渗透压调节物质, 当水体氮盐不足时, 藻类倾向于生产甘氨酸甜菜碱的类似物——DMSP 来完成渗透压调节的功能, 以减轻低氮条件对藻类生长的限制。然而将 Turner 等 (1988) 在实验室得到的结论推广到自然海区是困难的。对自然海区的数据, Turner 只证明了以氮盐浓度为标准划分为“高”和“低”的两组数据间藻细胞 DMSP 含量在统计上有显著差别, 然而其划分标准 ( $0.2\mu\text{mol/L}$ ) 与其在实验室的标准 ( $7\mu\text{mol/L}$ ) 相差甚远。本文研究表明: 在低  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度 ( $< 0.5\mu\text{mol/L}$ ) 情况下, DMSP 与  $\text{NO}_3\text{-N}$  呈正相关, 而在高  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度 ( $> 1.0\mu\text{mol/L}$ ) 条件下, DMSP 与  $\text{NO}_3\text{-N}$  呈负相关, 作者对此的解释是: 在自然海区, 当  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度低到影响浮游植物的生长的水平时, 海水中 DMSP 的浓度随浮游植物生产力的下降而下降, 这是在低氮盐浓度下 DMSP 与  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度成正相关的原因。这一点还可以从低  $\text{NO}_3\text{-N}$  条件下, 叶绿素 *a* 与  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DMSP 与叶绿

1) 同第 525 页脚注

素  $a$  之间的显著正相关(图 4b、图 4c) 得到进一步证实。而当环境中的  $\text{NO}_3\text{-N}$  不对浮游植物的生长构成限制时, DMSP 与  $\text{NO}_3\text{-N}$  之间的关系就呈现出 Grone 等 (1992) 和 Turner 等 (1988) 的实验中看到的负相关关系了。即在  $\text{NO}_3\text{-N}$  限制的条件下,  $\text{NO}_3\text{-N}$  可通过控制浮游植物的生物量控制海水中的 DMSP 浓度, 这表现为 DMSP 与  $\text{NO}_3\text{-N}$  之间的正相关; 而当环境中的  $\text{NO}_3\text{-N}$  较为充足时, 藻细胞对 DMSP 作为渗透压调节物质的需求随  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度的增高而降低, DMSP 与  $\text{NO}_3\text{-N}$  之间的关系表现为负相关。

综上所述, 可得出如下初步结论: 自然海区的 DMSP 与硝酸盐的关系是一种两段式的相关关系, 在  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度低于某一阈值时为正相关, 高于此阈值时为负相关。在本次调查海区和时间内, 该阈值大约在  $0.5\text{--}1.0\mu\text{mol/L}$ 。应当指出的是, 此阈值会随海区、季节以及浮游植物种类等条件不同而变化。

### 参 考 文 献

- 王永华, 焦念志, 1996. 顶空气相色谱法测定海水二甲基硫和浮游植物细胞二甲基硫丙酸的研究. 海洋与湖沼, 27(1): 46—50
- 焦念志, 王 荣, 李超伦, 1998. 东海春季初级生产力与新生产力的研究. 海洋与湖沼, 29(2): 135—139
- Andreae M O, Barnard W R, 1984. The marine chemistry of dimethylsulfide. Mar Chem, 14: 267—279
- Dickson D M J, Kirst G O, 1986. The role of  $\beta$ -dimethylsulfoniopropionate, glycine betaine and homarine in the osmoacclimation of *Planomonas subcordiformis*. Planta, 167: 536—543
- Grone T, Kirst G O, 1992. The effect of nitrogen deficiency, methionine and inhibitors of methionine metabolism on the DMSP contents of *Tetraselmis subcordiformis* (Stein). Mar Biol, 112: 497—503
- Holligan S M, Turner S M, Liss P S, 1987. Measurement of dimethylsulfide in frontal regions. Continental Shelf Res, 7: 213—224
- Iverson R L, Nearhoff F L, Andreae M O, 1989. Production of dimethylsulfonium propionate and dimethylsulfide by phytoplankton in estuarine and coastal waters. Limnol Oceanogr, 34(1): 53—67
- Keller M B, Bellows W K, Guillard R R L, 1989. Dimethylsulfide Production in Marine Phytoplankton. In: Saltzman E S, Cooper W J ed. Biogenic Sulphur in the Environment. Washington: Am Chem Soc Symp Series, 167—182
- Parsons T R, Maita Y, Lalli C M, 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Oxford: Pergamon Press, 101—115
- Turner S M, Malin G, Liss P S *et al*, 1988. The seasonal variation of dimethylsulfide and dimethylsulfoniopropionate concentrations in nearshore waters. Limnol Oceanogr, 33(3): 364—375
- Yang G, Zhang Z, Liu L, 1996. Study on the analysis and distribution of dimethyl sulfide in the East China Sea. Chin J Oceanol Limnol, 14(2): 141—148

## DISTRIBUTION OF DIMETHYLSULPHONIOPROPIONATE AND ITS CONTROLLING MECHANISM IN THE EAST CHINA SEA

JIAO Nian-zhi, LIU Cheng-zhang, CHEN Nian-hong

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

**Abstract** Investigation into the distribution of dimethylsulphoniopropionate (DMSP) in the East China Sea was conducted in April 1994. DMSP was converted to dimethylsulfide by alkalization and then measured by the head-space GC FPD method. DMSP concentration ranged from 0.17—5.66nmol / L, with the highest value occurring in the front area (around central of the sea, 125.0° E 29.3° N) between the coastal water and the Kuroshio current. From this peak center, DMSP concentration decreased gradually towards the estuary of the Changjiang River and towards the Kuroshio oceanic waters. A significant correlation between DMSP and chlorophyll-*a* was recorded, indicating that DMSP concentration was associated with phytoplankton abundance. In vertical distribution, DMSP concentration peaked within the surface 20 meters, then decreased sharply with increasing depth. DMSP concentration depth profiles were similar to those of chlorophyll-*a*.

Unlike the situation of previous laboratory experimental studies on the controlling mechanisms of DMS production from algal cells, no significant correlation was found between DMSP concentration and any physical parameters such as temperature and salinity. In contrast, DMSP concentration had interesting relationships with nutrient availability in the study area. When ambient concentrations of nitrate were lower than 0.5 $\mu$ mol / L, DMSP was significantly correlated to nitrate, DMSP had a decrease trend with increasing nitrate when nitrate concentrations were higher than 1.0 $\mu$ mol / L. Close correlations among DMSP, chlorophyll-*a* and nitrate in the former circumstance implies that nitrate might control the distribution of DMSP through regulating phytoplankton growth under nitrate-deficient conditions. In the later case, the inverse relationship between DMSP and nitrate was likely due to the substitution of DMSP by glycine betaine as an osmoregulatory substance when nitrate was relative abundant. Thus, a speculation of dual character of the effects of nitrate on natural DMSP abundance was proposed that nitrate, depending on its availability, can be either a promoter or an inhibitor of DMSP production. In the case of the East China Sea, the threshold of the nitrate concentration was around 0.5—1.0 $\mu$ mol / L in the study period.

**Key words** Dimethylsulphoniopropionate (DMSP) Chlorophyll-*a* Nitrate East China Sea

**Subject classification number** Q178.53