

# 三种典型赤潮藻产生与消耗二甲基硫化物的速率估算<sup>\*</sup>

李 猛<sup>1,2</sup> 袁东星<sup>1,2\*\*</sup> 林庆梅<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建厦门 361005; <sup>2</sup>厦门大学环境科学研究中心, 福建厦门 361005)

**摘 要** 采用抑制剂加入法估算了中肋骨条藻、棕囊藻和东海原甲藻在不同生长期内二甲基硫化物的产生与消耗速率. 结果表明: 颗粒态二甲基巯基丙酸 (DMSP<sub>p</sub>)和颗粒态二甲亚砷 (DMSP<sub>d</sub>)在 3种藻类的不同生长期内均为净消耗, 溶解态二甲基巯基丙酸 (DMSP<sub>d</sub>)和溶解态二甲亚砷 (DMSP<sub>d</sub>)的含量受藻类产生与细菌病毒消耗控制, 在藻类不同生长期内存在不同的产生与消耗速率, 而二甲基硫 (DMS)在 3种藻不同生长期内均为净产生. 同一种藻在不同生长期内以及不同藻在相同生长期内二甲基硫化物的产生与消耗速率均存在较大差异, 表明藻类的生理状态和种间差异均对二甲基硫化物的产生与消耗速率产生影响.

**关键词** 二甲基硫化物 中肋骨条藻 棕囊藻 东海原甲藻

文章编号 1001-9332(2007)08-1843-06 中图分类号 P7 文献标识码 A

**Production and consumption of dimethyl sulfur compounds by three typical algae** LIM eng<sup>1,2</sup>, YUAN Dong-xing<sup>1,2</sup>, LN Qing-mei<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; <sup>2</sup>Research Center of Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18(8): 1843-1848

**Abstract** By the method of inhibitor amendment, this paper estimated the production and consumption of dimethyl sulfur compounds by *Skeletonema costatum*, *Phaeocystis* sp. and *Prorocentrum donghaiense* in their different growth phases. The results indicated that throughout the whole growth period of the three algae, particle dimethylsulfoniopropionate (DMSP<sub>p</sub>) and dimethylsulfoxide (DMSP<sub>d</sub>) were net consumed. The concentrations of dissolved dimethylsulfoniopropionate (DMSP<sub>d</sub>) and dimethylsulfoxide (DMSP<sub>d</sub>) were mainly affected by the processes of algal production and bacterial and virus consumption, and thus could reflect their production or consumption rates in the growth period of algae. Dimethylsulfide (DMS) was net produced in the whole growth period of the algae. There was a greater difference in the production and consumption of dimethyl sulfur compounds for the same algae in its different growth phases and for different algae in the same growth phase, indicating that both the physiology and the interspecies difference of algae had effects on the production and consumption of dimethyl sulfur compounds.

**Key words** dimethyl sulfur compounds; *Skeletonema costatum*; *Phaeocystis* sp.; *Prorocentrum donghaiense*

## 1 引 言

海水中的二甲基硫化物包括二甲基巯基丙酸 (dimethylsulfoniopropionate, DMSP)、二甲基硫 (dimethylsulfide, DMS) 和二甲亚砷 (dimethylsulfoxide, DMSO). 这三者之间存在着密切的关系, 其产生与

消耗体现着复杂的生物地球化学过程<sup>[6]</sup>. 为进一步了解这些过程, 科学家采用抑制培养实验 (inhibitor incubation experiment)<sup>[5]</sup>的方法估算二甲基硫化物的产生与消耗速率. 所用的抑制剂包括三氯甲烷<sup>[14]</sup>、二氯甲烷<sup>[13]</sup>、二甲基硒<sup>[13]</sup>和二甲基二硫<sup>[13]</sup>等, 其中三氯甲烷和二甲基二硫具有较好的抑制效果, 被广泛使用. 到目前为止, 科学家使用这种方法在实验室和现场海区进行了系列研究, 估算出不同情况下 DMSP 和 DMS 的产生与消耗速

\* 国家自然科学基金资助项目 (200077022).

\*\* 通讯作者. E-mail: yuandx@xmu.edu.cn

2006-07-06 收稿, 2007-05-31 接受.

率<sup>[17, 15-16]</sup>, 但对 DMSO 产生与消耗过程的研究相对较少, 对二甲基硫化物在藻类不同生长期内的产生与消耗速率的相关研究尚未见报道。

中肋骨条藻 (*Skeletonna costatum*)、棕囊藻 (*Phaeocystis* sp.) 和东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense*) 均为常见赤潮藻, 广泛分布于我国周边海域<sup>[10]</sup>, 其中棕囊藻被认为是的 DMSP 高产藻<sup>[4]</sup>。本文采用单一培养方式, 以三氯甲烷作为抑制剂, 对中肋骨条藻、棕囊藻和东海原甲藻进行实验室培养, 估算了 3 种藻在不同生长期内二甲基硫化物之间的产生与消耗速率, 以期深入了解二甲基硫化物的产生、消耗与藻类生长之间的关系。

## 2 材料与方法

### 2.1 微藻的培养实验

实验选用的藻种由厦门大学环境科学研究中心藻类培养室提供。培养液采用 f/2 营养液配方: 天然海水经二次煮沸灭菌后, 加入一定量的无菌母液, 配制培养液。采用 15 L 玻璃培养缸, 内盛培养液, 以 1:20 的比例分别接入 3 种未经灭菌处理的藻种, 中肋骨条藻、棕囊藻和东海原甲藻接种时的初始密度分别为  $2.9 \times 10^6$ 、 $2.8 \times 10^7$  和  $4.0 \times 10^6$   $\text{cell} \cdot \text{L}^{-1}$ 。培养光源为日光灯, 光强为 5 000 lx, 光周期为 12 h:12 h, 培养温度为 20 °C。采样时间为每天 10:00 每次取 2 个平行样, 当天测定。

### 2.2 抑制培养实验

为估算二甲基硫化物的产生/消耗速率, 设计了抑制培养实验。由于在一定温度和避光条件下, 藻类不再合成新的 DMSP 和 DMSO, 通过在海水样品中加入适当的抑制剂作为细菌消耗的碳源替代品, 能够选择性地抑制细菌对 DMS 的消耗; 加入的抑制剂不影响 DMS 与 DMSP、DMS 与 DMSO 之间的转化。在不同时间段取出样品, 测定其中的二甲基硫化物含量, 对二甲基硫化物的含量与抑制培养时间作线性回归, 回归曲线的斜率即为二甲基硫化物的产生/消耗速率<sup>[11]</sup>, 曲线斜率为正值表示产生二甲基硫化物, 斜率为负值则表示消耗二甲基硫化物。

分别在 3 种藻的指数生长期、稳定生长期和衰老期采集样品, 中肋骨条藻在培养的第 2 天、第 7 天和第 14 天, 棕囊藻在培养的第 3 天、第 8 天和第 18 天, 东海原甲藻在培养的第 4 天、第 9 天和第 17 天。每次每种藻采 8 个平行样, 分别置于预先用稀盐酸洗涤过的 45 mL 顶空瓶中, 瓶中不留顶空气; 加入一定量三氯甲烷 (分析纯, 浙江金华第二化工厂), 使

三氯甲烷的最终浓度为  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。用带聚四氟乙烯膜的盖子迅速密封所有样品, 置于 20 °C 黑暗处培养, 分别在 0、1、4、8 和 13 h 取出样品, 测定其中的二甲基硫化物含量, 2 次重复。

### 2.3 仪器与试剂

Varian CP-3800 GC-PFPD (美国 Varian 公司生产); ENCON 吹扫-捕集系统 (美国 EST 公司生产); VOCARB 3000 吸附管 (美国 Supelco 公司生产, 管内的吸附剂为 Cabopack B/Caboxen<sup>TM</sup> 1000 & Caboxen 1001); 松下 NN-8552W F 变频微波炉 (上海松下微波炉有限公司生产)。

取  $1 \mu\text{L}$  DMS (美国 Supelco 公司生产, 分析纯, 相对密度  $0.845 \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 溶解在 1 mL 甲醇 (美国 Tedia 公司生产, 色谱纯) 中, 配成浓度为  $845 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的储备液; 取  $1 \mu\text{L}$  DMSO (美国 Supelco 公司生产, 分析纯, 相对密度  $1.10 \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 溶解在 1 mL 纯净水中, 配成浓度为  $1100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的储备液。NaBH<sub>4</sub> (分析纯, 进口分装) 购自上海化学试剂公司; 1:1 (V/V) HCl (上海化学试剂公司生产, 优级纯); NaOH (上海化学试剂公司生产, 优级纯); ADVANTEC GB50 玻璃纤维滤膜 (日本东京 Kaisha 公司生产)。

气相色谱参数: 色谱柱为 70 m × 0.53 mm DB-624 毛细管柱 (美国 J&W 公司), 涂层厚 3 μm, 进样口 (型号 1061) 温度 200 °C, PFPD 温度 220 °C, 氢气流量  $17 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , 空气 1 流量  $21 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , 空气 2 流量  $10 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。载气为高纯氮气, 流量  $5.0 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 柱箱温度恒定为 100 °C。

吹扫-捕集系统参数: 吹扫气体为高纯氮气, 吹扫时间 18 min, 吹扫流量  $55 \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 捕集管吸附温度 30 °C, 脱附温度 250 °C, 脱附时间 2 min, 传输线温度 60 °C。

### 2.4 二甲基硫化物的顺序分析

用针筒过滤器将 10 mL 藻液缓慢滤过 GB50 玻璃纤维滤膜, 保存滤膜待测。滤液送入吹扫-捕集系统中, 测定 DMS。取出测定过 DMS 的水样置于玻璃瓶中, 加入 0.1 g NaOH, 密封摇匀, 在功率 200 W 下微波辐射 6 min, 使水样中 DMSPd (溶解态 DMSP) 碱解成 DMS。样品迅速冷却至室温, 加入一定量的 1:1 (V/V) HCl 中和, 使溶液呈微酸性 (pH 5), 然后送入吹扫管中, 测定 DMS。求出水样中 DMSPd 的含量。测定 DMSPd 结束后, 样品保留在吹扫管中, 加入溶有 0.04 g NaBH<sub>4</sub> 的水溶液 2 mL, 固定反应时间为 2 min。样品中 DMSOd (溶解态 DMSO) 在吹扫管中被还原成 DMS。测定还原生成的 DMS 可求出 DMSOd

含量<sup>[8]</sup>。

将上述过滤得到的颗粒态 DMSP (DMSP<sub>p</sub>) 和颗粒态 DMSO (DMSO<sub>p</sub>) 滤膜置于玻璃瓶中, 加入 20 ml 纯净水, 重复测定 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub> 的步骤, 分别测定 DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub><sup>[8]</sup>。

## 2.5 数据处理

实验数据采用 Excel 统计软件进行分析处理。

## 3 结果与分析

### 3.1 藻类生长状况描述

藻类的生长状况可采用藻密度进行描述, 通常在实验室培养条件下, 藻类的生长包括缓慢生长期 (small growth lag phase)、指数生长期 (exponential growth phase)、稳定期 (stationary growth phase) 和衰老期 (senescent phase)。由于本实验的 3 种藻接种的初始密度较大, 达  $10^6$  cell · L<sup>-1</sup> 以上, 生长状况较好, 且培养液中营养充足, 3 种藻在接种后未出现缓慢生长期, 而直接进入指数生长期。由图 1 可见, 3 种微藻的生长曲线呈现出明显的指数生长期、稳定生长期和衰老期 3 个阶段。

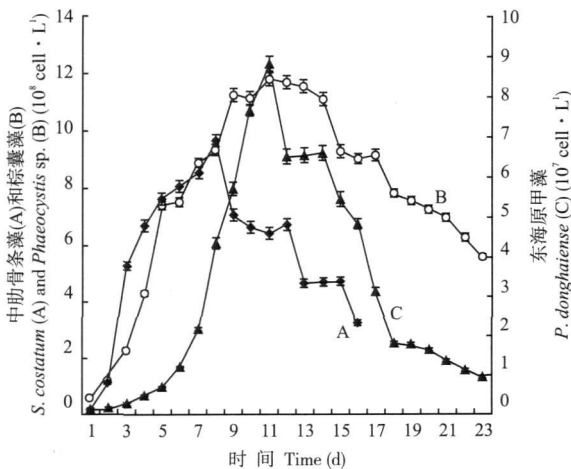


图 1 供试藻类的密度变化

Fig 1 Variation of cell density of the test algae

A: 中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*; B 棕囊藻 *Phaeocystis* sp.; C: 东海原甲藻 *Prorocentrum donghaiense*. 下同 The same below.

### 3.2 中肋骨条藻不同生长期内二甲基硫化物的产生与消耗

图 2A 为中肋骨条藻在 3 个不同生长期内抑制剂培养实验所得到的二甲基硫化物浓度变化曲线。根据图 2 对不同形态的二甲基硫化物的含量与抑制剂培养时间作线性回归, 所有回归直线的相关系数  $r$  均大于 0.65 ( $n=5$ ), 求出二甲基硫化物的产生与消耗速率 (表 1)。

表 1 3 种藻类不同生长期内二甲基硫化物的产生与消耗速率

Tab 1 Production and consumption rates of dimethyl sulfur compound with in different growth phases of three algae (nmol L<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>)

种名 Species	生长阶段 Growth phase	溶解态 二甲基 硫基丙酸 DMSP <sub>d</sub>	颗粒态 二甲基 硫基丙酸 DMSP <sub>p</sub>	二甲 基硫 DMS	溶解态 二甲亚砷 DMSO <sub>d</sub>	颗粒态 二甲亚砷 DMSO <sub>p</sub>
A	I	+47.90	-53.52	+0.79	+0.84	-4.07
	II	+50.81	-54.27	+0.53	+3.16	-2.02
	III	-29.16	-98.71	+1.38	+4.97	-9.92
B	I	+24.79	-78.89	+1.20	+1.57	-0.91
	II	+14.51	-76.57	+3.87	-0.79	-9.23
	III	-14.02	-71.53	+2.43	+1.66	-2.19
C	I	+10.09	-18.99	+1.19	+2.34	-1.34
	II	+19.69	-45.49	+3.45	+4.36	-0.56
	III	+12.78	-72.00	+2.40	+2.26	-1.76

A: 中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*; B 棕囊藻 *Phaeocystis* sp.; C: 东海原甲藻 *Prorocentrum donghaiense*. I: 指数增长期 Exponential growth phase; II: 稳定期 Stationary growth phase; III: 衰老期 Senescent phase. +产生 Produced -消耗 Consumed

由表 1A 可见, 不同形态二甲基硫化物的产生与消耗速率相差较大, 其中 DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub> 浓度在实验过程中一直呈下降趋势。这一方面是由于在黑暗条件下, 中肋骨条藻无法合成新的 DMSP 和 DMSO<sup>[11]</sup>; 另一方面, 藻液中的藻细胞不断死亡破裂, 体内的 DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub> 不断释放入水体, 转化为 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub><sup>[11]</sup>。此外, 比较不同生长期内 DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub> 的消耗速率可以看出, DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub> 均在衰老期具有最高的消耗速率, 分别达到 98.71 和 9.92 mol L<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>, 远高于指数生长期和稳定生长期。

DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub> 的释放产生大量 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub> 使藻液中的 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub> 的含量逐渐上升, 由于本实验所接入的藻种未经过灭菌处理, 故培养体系仍存在大量细菌和病毒, 会利用和消耗 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub>。此外, DMSP<sub>d</sub> 还可经 DMSP 裂解酶作用分解生成 DMS 因此藻液中 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub> 的产生消耗不仅受 DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub> 含量的控制, 还受细菌、病毒和 DMSP 裂解酶的含量和活性控制。当 DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub> 的产生量大于细菌、病毒和酶对 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub> 的消耗量时, 藻液中 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub> 的含量随抑制培养时间的增长而逐渐升高; 反之则随抑制培养时间的增长而逐渐降低。

在指数生长期和稳定生长期里, 藻液中的 DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub> 的含量逐渐升高, 表明 DMSP<sub>p</sub> 和 DMSO<sub>p</sub> 的产生量高于消耗量, DMSP<sub>d</sub> 和 DMSO<sub>d</sub> 为

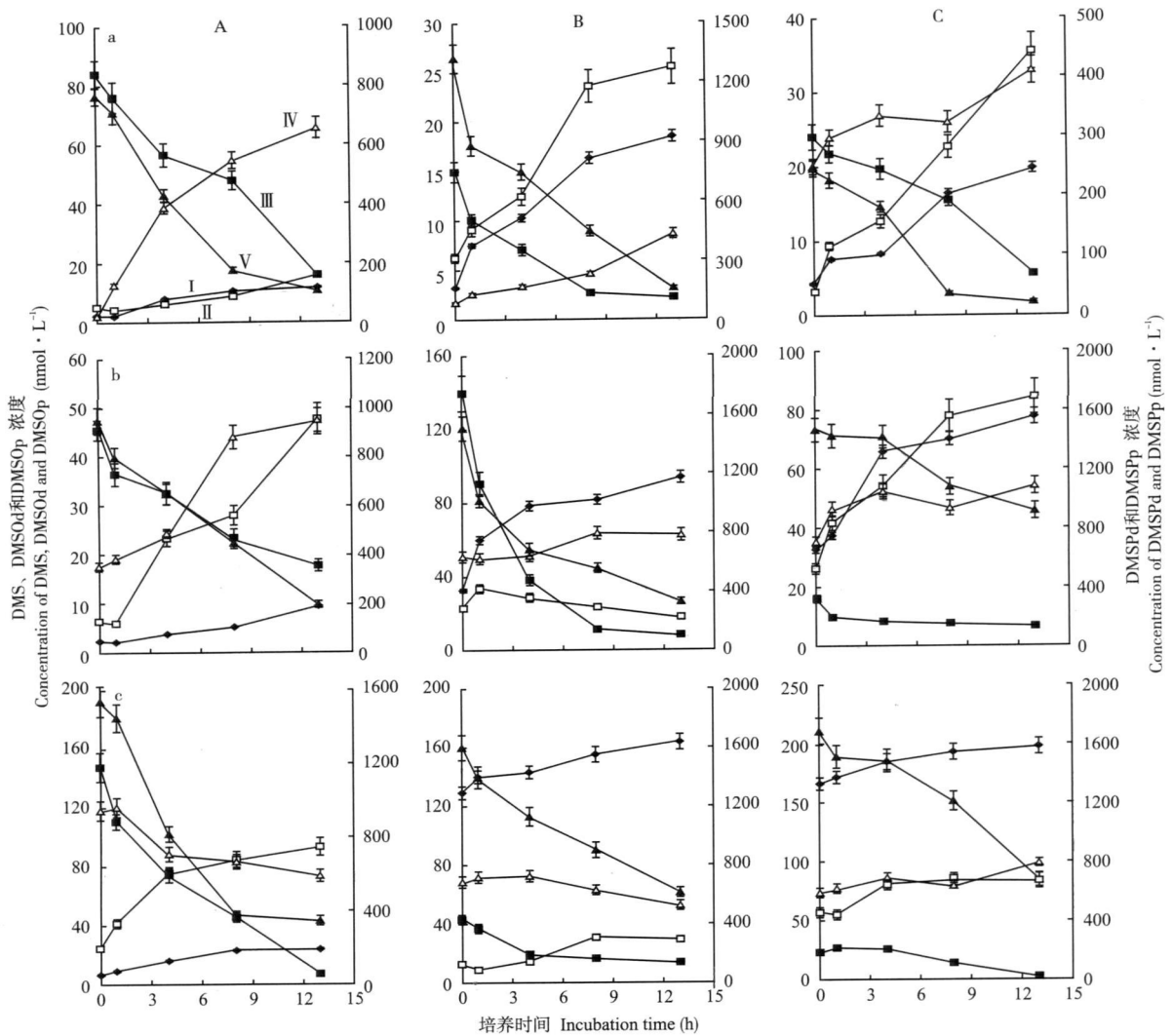


图 2 3种藻类不同生长期内二甲基硫化物的产生与消耗

**Fig 2** Production and consumption of dimethyl sulfur compounds within different growth phases of algae

a) 指数生长期 Exponential growth phase; b) 稳定生长期 Stationary growth phase; c) 衰老期 Senescent phase I: 二甲基硫 DMS II: 溶解态二甲亚砷 DM SOd III: 颗粒态二甲亚砷 DM SP IV: 溶解态二甲基巯基丙酸 DM SPd V: 颗粒态二甲基巯基丙酸 DM SPp

净增加。到衰老期, DM SOd升高, 而 DM SPd下降, 在显微镜下可见大量藻细胞破裂, 导致细胞内的 DM SP裂解酶释放到水体中, DM SPd在 DM SP裂解酶作用下大量分解, 使中肋骨条藻在衰老期里 DM SPd的消耗量高于 DM SPp的产生量; 而 DM SOd未受 DM SP裂解酶的作用, 其产生量仍大于细菌、病毒对 DM SOd的消耗量, 因此 DMSOd仍为净增加。

在中肋骨条藻的指数生长期和稳定生长期里, DM SPp和 DM SPd之间的产生与消耗相对平衡, 即 DM SPp的消耗量基本等于 DM SPd的产生量, 说明在指数生长期和稳定生长期, 细菌、病毒和酶对 DM SPd的含量影响较小; 其平衡到衰老期被打破, DM SPp和 DM SPd均被消耗, 表明在衰老期里细菌、病毒和酶对 DM SPd含量的影响较大, DMSOp和 DM-

SOd的产生与消耗在 3个不同生长期内均不平衡, 提示影响 DM SO颗粒态与溶解态之间转化的因素较复杂, 还有待进一步研究。

由于三氯甲烷的加入抑制了 DMS的细菌消耗, 但不影响 DM SPd分解生成 DMS及 DM SOd与 DMS之间的转化<sup>[13-14]</sup>, 而 DM SPd向 DMS的转化是单向过程, 即 DM SPd在 DM SP裂解酶作用下分解生成 DMS<sup>[12]</sup>, 因此该转化率主要取决于 DM SPd的含量与 DM SP裂解酶的含量与活性。DMSOd一直被认为是 DMS的光化学和细菌氧化产物<sup>[2, 17]</sup>, 但 Jonkers等<sup>[3]</sup>研究发现, DMSOd也可以被某些海洋细菌还原生成 DMS因此 DMSOd与 DMS之间的转化是可逆的。本实验中中肋骨条藻在 3个不同生长期内的 DMS均为净增加, 衰老期 DMS的产生速率最高, 达

$1.38 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . 衰老期里大量藻细胞破裂, 导致细胞内的 DMSP 裂解酶释放到水体中, DMSPd 在 DMSP 裂解酶作用下大量分解, 产生 DMS.

### 3.3 棕囊藻不同生长期内二甲基硫化物的产生与消耗

图 2B 为棕囊藻在 3 个不同生长期内抑制剂培养实验得到的二甲基硫化物浓度变化曲线. 根据图 2B 对不同形态的二甲基化物的含量与抑制培养时间作线性回归 ( $r > 0.7$ ,  $n = 5$ ), 求得二甲基硫化物在不同生长期内的产生与消耗速率 (表 1B).

由表 1B 可见, DMSPp 和 DMSOp 的浓度在实验过程中均呈下降趋势, 其原因与中肋骨条藻的相同. 比较 DMSPp 和 DMSOp 在不同生长期内的消耗速率可以发现, DMSPp 的消耗速率较为恒定, 而 DMSOp 在不同生长期内的消耗速率有较大差异, 在稳定生长期具有最大速率, 达到  $9.23 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . 推测其原因是培养体系中所存在的不同细菌和病毒对 DMSPp 和 DMSOp 的消耗有差异, 导致两者的消耗速率不同.

DMSPd 在指数生长期和稳定生长期里均为净增加, 而在衰老期里则为净消耗, 表明在指数生长期和稳定生长期里, DMSPp 释放到藻液中形成 DMSPd 的量大于细菌、病毒和酶对 DMSPd 的消耗量, 而在衰老期则相反. DMSOd 在指数生长期和衰老期净增长, 而在稳定生长期却是净消耗.

棕囊藻在稳定生长期具有最高的 DMS 产生速率, 达  $3.87 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 提示在该阶段 DMSPd 以较高的比例转化生成 DMS. 棕囊藻的 DMSP 裂解酶具有较高的活性<sup>[9]</sup>, 因此, 尽管在指数生长期, DMS 的产生速率仍可达到  $1.20 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

### 3.4 东海原甲藻不同生长期内二甲基硫化物的产生与消耗

东海原甲藻在 3 个不同生长期内的样品经抑制剂培养实验, 二甲基硫化物浓度变化曲线以及二甲基硫化物的产生与消耗速率示于图 2C 和表 1C.

由图 2C 和表 1C 可见, DMSPp 和 DMSOp 在东海原甲藻 3 个生长时期均为净消耗, 是由于黑暗条件下, 藻细胞无法合成新的 DMSPp 和 DMSOp 造成的; 在同一个生长时期内, DMSPp 和 DMSOp 的消耗速率相差较大, 主要是由于 DMSPp 和 DMSOp 的培养初始浓度的差别较大. 此外, 不同细菌和病毒对 DMSPp 和 DMSOp 消耗的差异也会对两者的消耗速率产生影响.

与中肋骨条藻和棕囊藻抑制剂培养实验的结果

不同, DMSPd 和 DMSOd 在东海原甲藻 3 个不同生长期均为净增加, 表明 DMSPp 和 DMSOp 释放到藻液中形成 DMSPd 和 DMSOd 的量一直大于细菌、病毒和酶对 DMSPd 和 DMSOd 消耗的量.

东海原甲藻在不同生长期的 DMS 均为净增加, 规律与棕囊藻相似. 在稳定生长期内的产生速率最高, 为  $3.45 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 衰老期次之, 为  $2.40 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 指数生长期内 DMS 产生速率最低, 为  $1.19 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . 据报道, 在链状裸甲藻 (*Gymnodinium catenatum*) 水华发生时, DMS 的产生速率为  $7.9 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ <sup>[11]</sup>. DMS 的产生速率取决于藻液中 DMSPd 含量与 DMSP 裂解酶的活性, 不同藻种的 DMSPd 含量与 DMSP 裂解酶活性相差较大, 藻种之间的差异也造成 DMS 产生速率的差异.

## 4 结 论

1) DMSPp 和 DMSOp 在中肋骨条藻、棕囊藻和东海原甲藻的不同生长期内均为净消耗, 但消耗速率有较大差异; DMSPd 和 DMSOd 的含量受藻类产生与细菌病毒消耗控制, 在 3 种藻类的不同生长期内表现出不同的产生与消耗速率; DMS 在 3 种藻类的不同生长期内均为净增加, 衰老期的中肋骨条藻具有最大的 DMS 产生速率, 为  $1.38 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 棕囊藻和东海原甲藻则在稳定生长期内具有最大的 DMS 产生速率, 分别为  $3.87$  和  $3.45 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

2) 二甲基硫化物的产生与消耗速率在同一种藻的不同生长期内存在较大差异, 即使生长期相同, 不同藻也有较大差异, 表明藻类的生理状态和种间差异均会影响二甲基硫化物的产生与消耗.

## 参考文献

- [1] Goene T. 1995. Biotogenic production and consumption of dimethylsulfide (DMS) and dimethylsulfoniopropionate (DMSP) in the marine epipelagic zone: A review. *Journal of Marine Systems* 6(3): 191-209
- [2] Hatton AD. 2002. Influence of photochemistry on the marine biogeochemical cycle of dimethylsulfide in the northern North Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 49(15): 3039-3052
- [3] Jonkers HM, van der Maare IM JEG, van Gemerden H, et al. 1996. Dimethylsulfoxide reduction by marine sulfate-reducing bacteria. *FEMS Microbiology Letters* 136(3): 283-287
- [4] Keller MD. 1988. Dimethyl sulfide production and ma

- rine phytoplankton: The important of species composition and cell size *Biological Oceanography*; **6**(3): 375-382
- [ 5 ] Kiene RP, Bates TS. 1990. Biological removal of dimethyl sulphide from sea water. *Nature* **345**: 702-705
- [ 6 ] Kiene RP, Linn LJ, Bruton JA. 2000. New and important roles for DMSP in marine microbial communities. *Journal of Sea Research* **43**(3/4): 209-224
- [ 7 ] Kwint RLJ, Quist B, Hansen TA, *et al*. 1996. Turnover of dimethylsulfoniopropionate and dimethylsulfide in the marine environment: A mesocosm experiment. *Marine Ecology - Progress Series* **145**(1/3): 223-232
- [ 8 ] Li M, Yuan DX, Li QL, *et al*. 2007. Sequential analysis of dimethyl sulfur compounds in seawater. *Chinese Chemical Letters* **18**(1): 99-102
- [ 9 ] Malin G, Wilson WH, Bratbak G, *et al*. 1998. Elevated production of dimethylsulfide resulting from viral infection of cultures of *Phaeocystis pouchetii*. *Limnology and Oceanography* **43**(6): 1389-1393
- [ 10 ] Qi Y-Z (齐雨藻), Wang Y (王艳). 2003. What the *Prorocentrum* species should be? A review on identification of a *Prorocentrum* species from the East China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**(7): 1188-1190 (in Chinese)
- [ 11 ] Simó R, Pedrós A, Malin G, *et al*. 2000. Biological turnover of DMS, DMSP and DMSO in contrasting open sea waters. *Marine Ecology - Progress Series* **203**(9): 1-11
- [ 12 ] Visscher PJ, Taylor BF. 1994. Demethylation of dimethylsulfoniopropionate to 3-mercaptopropionate by an aerobic marine bacterium. *Applied and Environmental Microbiology*; **60**(12): 4617-4619
- [ 13 ] Wolfe GV, Kiene RP. 1993. Effects of methylated organic and inorganic substrates on microbial consumption of dimethyl sulfide in estuarine waters. *Applied and Environmental Microbiology*; **59**(8): 2723-2726
- [ 14 ] Wolfe GV, Kiene RP. 1993. Radioisotope and chemical inhibitor measurements of dimethyl sulfide consumption rates and kinetics in estuarine waters. *Marine Ecology - Progress Series* **99**(3): 261-269
- [ 15 ] Wolfe GV, Levasseur M, Cantin G, *et al*. 1999. Microbial consumption and production of dimethyl sulfide (DMS) in the Labrador Sea. *Aquatic Microbial Ecology*; **18**(2): 197-205
- [ 16 ] Wolfe GV, Sherr EB, Sherr BF. 1994. Release and consumption of DMSP from *Emiliania huxleyi* during grazing by *Oxyrrhis marina*. *Marine Ecology - Progress Series* **111**(2): 111-119
- [ 17 ] Zeyer J, Eicher P, Wakeham SG, *et al*. 1987. Oxidation of dimethylsulfoxide by phototrophic purple bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* **53**(9): 2026-2032

---

作者简介 李猛,男,1980年生,硕士.主要从事海洋环境化学研究,发表论文8篇. Email: ln109@tm.com

责任编辑 肖红

---