

大亚湾海域溶解游离氨基酸及其与环境的关系*

郑爱榕 沈海维 李文权 詹力扬

(厦门大学海洋学系 亚热带海洋研究所 361005)

提要 对大亚湾海域溶解游离氨基酸(DFAA)的分布特征及其影响因素进行了研究。现场采样调查分别于1995年5月、11月和2000年4月进行。结果表明:(1)大亚湾海域DFAA的含量较高,在0.69~4.73 μmol/L之间,平均 $2.16 \pm 0.87 \mu\text{mol/L}$,可能主要源于较为旺盛的生物活动;(2)DFAA含量在海域的平面分布变化较大,垂直分布和季节及年变化不明显;(3)DFAA与海水中的DOC呈正相关、与叶绿素呈负相关关系,与TN的相关性则呈季节变化,生物效应可能是影响该海域DFAA含量的主要因素。

关键词 溶解游离氨基酸(DFAA),分布特征,环境因子,大亚湾

溶解游离氨基酸(DFAA)是海水中溶解有机物的主要成分,虽然其量占总溶解有机氮的百分比很小,但它在有机物的循环中起着重要的中间物作用。DFAA是重要的生源物质,它的循环是海洋生态系的一个重要特征^[1],其含量变化与水体的生物量、生物新陈代谢密切相关,并受海水运动、不同水团混合等因素的影响。因此,研究海水中DFAA含量的分布特征及与生物代谢活动等环境因子的相关性,对海域的开发利用和海洋生态学的研究将有重要意义。国外不少学者对DFAA进行过广泛的调查研究^[9-10],但国内这方面的研究报道并不多见^[2]。本文阐述了1995年5月、11月和2000年4月3个航次大亚湾海域的溶解游离氨基酸,以了解该海域DFAA的含量、分布特征及其与环境因子的关系。

1 调查与分析方法

1.1 采样

1995年5月和11月进行了两个航次的调查,共布设10个站位(图1)。表层、底层水样,用GCC2型有机玻璃采水器采取。2000年4月布设8个站位(图3),按光衰减的0、1%和10%分别采表层、中和底层水样,各层水样用抽水泵抽取。3个航次的水样均用玻璃纤维滤膜(GF/F, φ=47 mm)过滤,滤液部分现场测定有关参数,部分贮存于玻璃瓶,用甲苯固定于冰箱冷冻保存,到实验室后解冻分析。

1.2 分析方法

总无机氮(TN)的测定按文献^[3]进行;叶绿素a的测定采用分光光度法,计算用Jeffrey 1975年的三色

方程;DOC用过硫酸钾氧化法、无色散CO₂气体分析仪测定;盐度用SYA 2-1型盐度计测定;DFAA用邻苯二甲醇法测定(激发波长365 nm、发射波长467 nm),以谷氨酸为标准^[8]。

2 结果和讨论

2.1 含量范围

不同航次测得的该海域的DFAA含量有所不同。调查结果(表1和表2)表明:3个航次的DFAA含

表1 1995年大亚湾海域的DFAA含量(μmol/L)
Tab.1 The contents of DFAA in Daya Bay in 1995
(μmol/L)

站位	1995.5		1995.11	
	表层	底层	表层	底层
76	1.26	2.57	1.39	1.91
77	1.05	/	3.02	2.61
78	1.74	/	3.18	3.32
79	2.93	/	4.73	1.32
80	1.73	1.35	1.27	2.03
81	1.99	2.00	1.86	3.30
82	2.44	1.19	0.69	1.81
85	1.85	2.45	2.19	1.49
86	0.76	3.15	3.30	1.86
87	1.49	0.92	3.07	1.71

* 中国科学院大亚湾海洋生物开放综合实验站基金资助项目 P9907 和 P9401 号。
收稿日期:2001-02-01;修回日期:2001-08-20

表 2 2000 年 4 月大亚湾海域 DFAA 含量 ($\mu\text{mol/L}$)

Tab.2 The contents of DFAA in Daya Bay in Apr., 2000 ($\mu\text{mol/L}$)

站位	表层	中层	底层
1	8.11 *	2.95	/
2	2.20	/	2.63
3	1.55	1.25	1.72
4	0.96	3.97	1.60
5	1.75	1.51	1.84
6	1.93	1.40	0.85
7	1.05	1.03	/
8	3.47	1.75	2.45

* 异常舍去

表 3 各海区 DFAA 的含量 ($\mu\text{mol/L}$)

Tab.3 The contents of DFAA in other sea areas ($\mu\text{mol/L}$)

海区	大亚湾	闽南-台湾 浅滩上升流区	Chesapeake 湾	九龙江口
DFAA	2.16 ± 0.87	0.43 ± 0.26	1.38	0.685
文献	本文	[2]	郑爱榕, 2001	周慈由等, 1996

量范围为 $0.69 \sim 4.73 \mu\text{mol/L}$, 平均 $2.16 \pm 0.87 \mu\text{mol/L}$, 与其他海区相比有较高的 DFAA 含量 (表 3)。海水中溶解有机物的主要来源: 一是海洋内部的生物过程, 如浮游植物的新陈代谢、死亡细胞的分解等; 二是外部来源, 主要是河流输入。大亚湾周围无大河流, 只有十多条短小的季节性小溪流, 看来陆源 DFAA 的输入不甚显著, 因而该海域高 DFAA 含量可能主要源于较为旺盛的生物活动。

2.2 DFAA 含量的时、空变化

海域 DFAA 的平面分布受到水文因素、生物活动

的影响, 并随季节变化。由图 1 可以看出, 1995 年 5 月 DFAA 表层水的含量由西南向东北方向下降, 最大值位于湾西南面的 79 号站 (即大鹏澳的出口处) 和湾口西面的 82 号站, 最小值在湾中部中央的 86 号站; 底层水则由西南至西北呈增加趋势, 最大值位于湾北部中央的 85 号站, 最小值位于湾口中央的 87 号站。

由图 2 可知, 1995 年 11 月 DFAA 表层水的含量在湾西南部由西向东下降, 在 82 号站达最小值后又有上升, 在湾西北部由西向东则略有增加, 最大值与 1995 年 5 月的分布一样位于 79 号站; 底层水则以湾中部 86 号站西南面不远的 81 号站为中心 (最大值出现的站位) 朝北、西和南三

面下降。

由图 3 可知, 2000 年 4 月 DFAA 表层水的含量与 1995 年 5 月表层水的分布相似, 由西南向东北方向下降, 最大值位于湾西南面的 8 号站 (即 1995 年航次的 79 号站), 最小值在湾中部中央的 4 号站 (相当于 1995 年航次的 86 号站); 底层水则由湾的西南向西北方向下降, 最大值位于 8 号站和 2 号站 (相当于 1995 年航次的 82 号站), 最小值在湾西北面的 6 号站。

对比 3 个航次 DFAA 的平面分布 (表 4) 可以看出, 春季 (1995 年 5 月和 2000 年 4 月) 表层水的平面

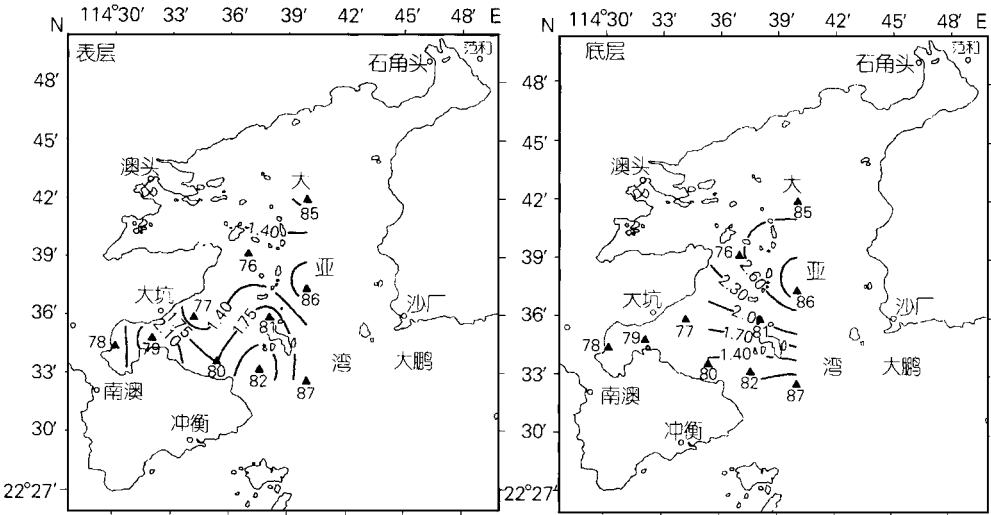


图 1 1995 年 5 月 DFAA 的平面分布

Fig.1 The horizontal distribution of DFAA in May, 1995

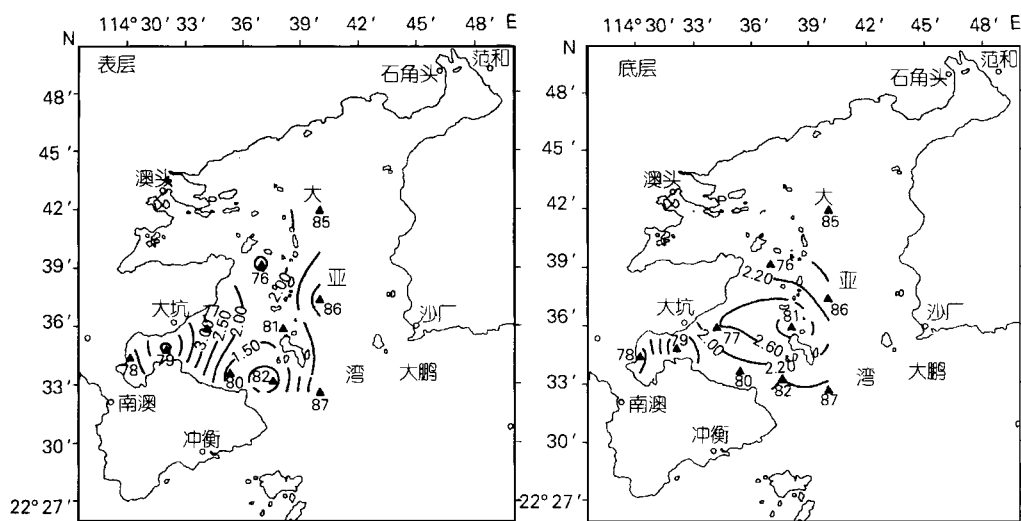


图 2 1995 年 11 月 DFAA 的平面分布

Fig.2 The horizontal distribution of DFAA in Nov., 1995

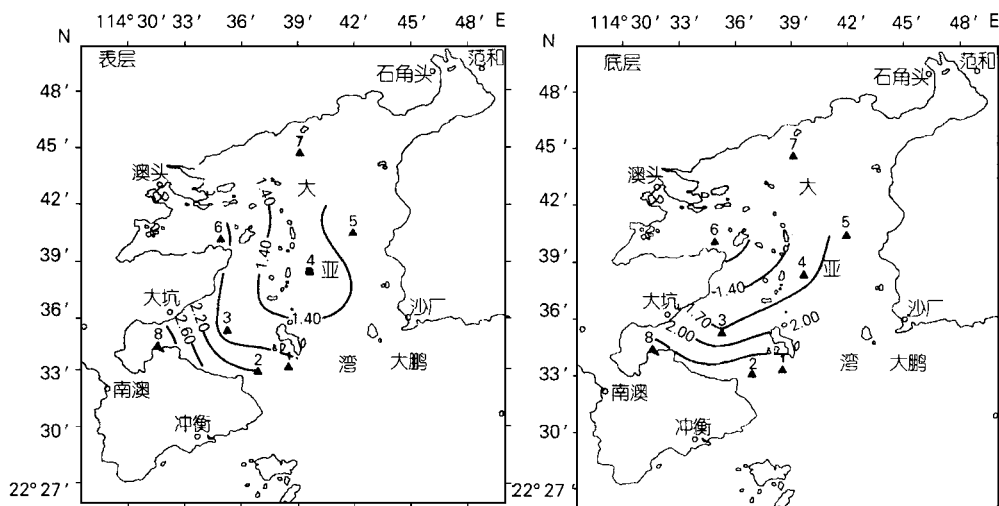


图 3 2000 年 4 月 DFAA 的平面分布

Fig.3 The horizontal distribution of DFAA in Apr., 2000

分布十分相似,即湾的西南面高、东北面低;秋季(1995 年 11 月)与春季最大值出现的站位相同,但最小值不同位于湾口西面。底层水 DFAA 的平面分布则较为复杂,3 个航次各不相同。

由表 1 和 2 还可知,1995 年 5 月表层水 DFAA 含量平均 $1.72 \pm 0.65 \mu\text{mol/L}$, 底层水平均 $1.95 \pm 0.81 \mu\text{mol/L}$, 底层略大于表层;1995 年 11 月表层水平均 $2.47 \pm 1.22 \mu\text{mol/L}$;底层水平均 $2.14 \pm 0.79 \mu\text{mol/L}$,

表层略大于底层;而 2000 年 4 月表、中和底层水 DFAA 平均值分别为 1.84 ± 1.08 、 1.98 ± 1.07 和 $1.85 \pm 0.64 \mu\text{mol/L}$,表层与底层一样,中层略高于表层和底层。以上结果说明大亚湾海域 DFAA 平均含量的垂直分布没有明显变化,这与黄丽东等对闽南-台湾浅滩渔场上升流海区的调查^[2]是一致的,其 5 个航次的结果表明,DFAA 表层、10m 层和底层水的平均含量分别为 0.45 ± 0.25 , 0.41 ± 0.28 和 0.43 ± 0.24

表 4 大亚湾 3 个航次 DFAA 的平面分布对比

Tab.4 Comparison of the horizontal distribution of DFAA during three cruises in Daya Bay

层次	航次	变化趋势	最大值出现的站位	最小值出现的站位
表层水	1995 年 5 月	西南 → 东北下降	79(湾西南部), 82	86(湾中部中央)
	2000 年 4 月	西南 → 东北下降	8(即 79)	4(即 86)
	1995 年 11 月	西北部西 → 东先下降达	79	82(湾口西面)
		极小后又上升;西北部西 → 东略增加		
底层水	1995 年 5 月	西南 → 西北增加	85(湾北部中央)	87(湾口中央)
	2000 年 4 月	西南 → 西北下降	2(即 82), 8	6(湾西北面)
	1995 年 11 月	以 81 号站为中心 → 西、北和南下降	81(86 西南面不远)	无明显站位

μ mol/L。

1995 年 5 月、1995 年 11 月和 2000 年 4 月 3 个航次 DFAA 含量的平均值分别为 1.82 ± 0.71 、 2.30 ± 0.93 和 1.89 ± 0.82 μ mol/L, 显然 DFAA 含量秋季略大于春季, 而 1995 年 5 月和 2000 年 4 月几乎一致, 没有变化。据报道在爱尔兰海和英吉利海峡 DFAA 在整年中的浓度变化很小^[4], 大亚湾的 DFAA 与之相似。

2.3 DFAA 与环境因子的关系

2.3.1 DFAA 与营养盐氮的关系

氮是藻类生长所必需的营养物质, 它们构成浮游植物细胞的蛋白质分子、参与生物的新陈代谢。作为海水中浮游植物可利用的主要营养元素, 其含量变化可反映出水体中浮游植物量及其新陈代谢过程, 对大亚湾海域而言, 氮还是其初级生产力的限制因子^[5,7]。将 DFAA 与水体中营养盐氮数据^[6]进行线性回归, 结果如下:

$$1995 \text{ 年 } 5 \text{ 月 } \quad \text{TIN} = 0.25 + 0.25 \text{ DFAA}$$

$$(n = 16, r = 0.5784, P < 0.05)$$

$$1995 \text{ 年 } 11 \text{ 月 } \quad \text{TIN} = 0.31 - 1.85 \text{ DFAA}$$

$$(n = 18, r = 0.5016, P < 0.05)$$

$$2000 \text{ 年 } 4 \text{ 月 } \quad \text{TIN} = 0.53 + 1.18 \text{ DFAA}$$

$$(n = 19, r = 0.5198, P < 0.05)$$

显然, 1995 年 5 月和 2000 年 4 月 2 个航次总无机氮 (TIN) 的含量均与水体中的 DFAA 呈正相关关系; 而 1995 年 11 月则相反, TIN 与 DFAA 呈负相关关系。这表明水体中溶解无机氮的变化与海水中 DFAA 有关, 但这种变化有季节性。这种 TIN 在春季随 DFAA 增加而增加, 在秋季随 DFAA 增加而减少的相关性可能与 DFAA 与 TIN 之间的降解转化有关, 有待进一步的查证和研究。

2.3.2 DFAA 与 DOC 的关系

DFAA 是 DOC 的主要成分之一, Ittekkot 1982 年在研究北海北部春季浮游植物繁殖过程中溶解有机物的变化时, 发现释放的总 DFAA 和溶解碳水化合物占 DOC 的 20%, 数量可观。1995 年 5 月航次的调查 (1995 年 11 月和 2000 年 4 月航次未测定 DOC) 表明: DFAA 含量与 DOC 存在着正相关关系, 其回归方程为:

$$\text{DFAA} = -0.91 + 3.39 \text{ DOC}$$

$$(n = 16, r = 0.5710, P < 0.05)$$

说明 DOC 增加, DFAA 随之增加。黄丽东等 1988 年 6~8 月 3 个航次在调查闽南 - 台湾浅滩渔场上升流区 DFAA 的分布时也发现了这一明显特征^[2], 其相关方程为:

$$\text{表层水 } \text{DFAA} = -3.40 + 1.33 \text{ DOC}$$

$$(n = 21, r = 0.450, P < 0.05)$$

$$\text{底层水 } \text{DFAA} = -0.58 + 0.35 \text{ DOC}$$

$$(n = 35, r = 0.345, P < 0.05)$$

M. Pettine 等 1999 年在 Adriatic 海北部也发现了相似的现象^[10]:

$$\text{DFAA} = -0.02(\pm 0.17) + 0.01(\pm 0.001)[\text{DOC}]$$

$$(n = 66, r = 0.64, P < 0.001)$$

2.3.3 DFAA 与叶绿素的关系

1995 年 11 月和 2000 年 4 月两航次的 DFAA 含量 (1995 年 5 月未测定 Chl-a) 都与 Chl-a 呈负相关, 其相关方程为:

$$1995 \text{ 年 } 11 \text{ 月 } \quad \text{DFAA} = 3.24 - 0.71 \text{ Chl-a}$$

$$(n = 16, r = 0.5435, P < 0.05)$$

$$2000 \text{ 年 } 4 \text{ 月 } \quad \text{DFAA} = 2.92 - 0.37 \text{ Chl-a}$$

$$(n = 17, r = 0.6133, P < 0.01)$$

这一结果表明: 活的浮游植物种群会吸收 DFAA 而导致水体 DFAA 含量的下降。因为实验^[1]表明浮游

植物在新陈代谢过程中既能释放 DFAA 也能吸收 DFAA, 它不仅是海水中 DFAA 的生产者, 同时也是 DFAA 的消耗者。当浮游植物繁殖旺盛时, 其吸收 DFAA 的速率大于释放速率, 致使水中 DFAA 的含量降低; 当浮游植物衰老死亡时, 其不但吸收 DFAA 的速率小于释放速率, 而且还向水中释放出大量溶解有机物, 使 DFAA 含量增加, 这种现象与周慈由等 1995 年对九龙江河口的调查和文献^[2]的结果完全相符合, 其相关方程分别为:

九龙江河口(1995 年 3 月) $\text{DFAA} = 0.715 - 0.164 \text{ Chl-a}$ ($n=10, r=-0.71, P<0.05$)

闽台上升流区(1988 年 7 月) $\text{DFAA} = 2.78 - 1.18 \text{ Chl-a}$ ($n=36, r=-0.639, P<0.01$)

3 结语

(1) 大亚湾海域 DFAA 的含量较高, 可能主要源于较为旺盛的生物活动。DFAA 在海域表层水的平面分布春季是湾西南面高、东北面低, 秋季则西南面高, 湾口西面低; 底层水的平面分布无规律。DFAA 的垂直分布没有差异, 季节变化和年变化不明显。

(2) DFAA 与海水中的 DOC 呈正相关关系, 与叶

绿素呈负相关关系, 与 TIN 的相关性则春、秋季不同, 表明生物效应可能是影响大亚湾 DFAA 含量的主要因素。

参考文献

- 1 陆田生 纪明候。海洋与湖沼, 1997, 28(3): 256 ~ 261
- 2 韩舞鹰等。海水化学要素调查手册。北京: 科学出版社, 1986。
- 3 黄丽东 吴瑜端。闽南 - 台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究。北京: 科学出版社, 1991。218 ~ 223
- 4 郭锦宝。化学海洋学。厦门: 厦门大学出版社, 1997。182
- 5 徐恭昭等。大亚湾环境与资源。安徽: 安徽科学技术出版社, 1989。
- 6 崔淑芬 李文权 蔡阿根等。海洋科学, 1999, 2: 60 ~ 62
- 7 陈金斯。大亚湾生态系统研究(一)。北京: 气象出版社, 1999。30 ~ 35
- 8 Parsons T. R. *et al.*. A Manual of Chemical and Biological Method for Sea Water Analysis. Oxford: Pergamon Press, 1984。75 ~ 80
- 9 Sellner K. G., Nealley E. W.. *Marine Chemistry*, 1997, 56: 193 ~ 200
- 10 Pettine M. *et al.*. *Marine Chemistry*, 1999, 64: 153 ~ 169

DISSOLVED FREE AMINO ACIDS AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENT FACTORS IN DAYA BAY

ZHENG Ai-rong SHEN Hai-wei LI Wen-quan ZHAN Li-yang

(Department of Oceanography and Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, 361005)

Received: Feb., 1, 2001

Key Words: Dissolved free amino acids (DFAA), Distribution, Environmental factors, Daya Bay

Abstract

Concentration of DFAA in Daya Bay was measured for the first time during three cruises in May, 1995, Nov., 1995 and Apr., 2000. DFAA concentrations are in a range of $0.69-4.73 \mu\text{mol/L}$ with an average of $2.16 \pm 0.87 \mu\text{mol/L}$, reflecting the correlation with high bioactivity. The horizontal distribution of DFAA varies in a larger scope, the vertical and seasonal distribution are not very obvious. It is also found that the content of DFAA is related positively to DOC, negatively to chlorophyll-a, and the relationship between DFAA and TIN varies with season, indicating that biological effect play an important role in variation of DFAA concentration.

(本文编辑: 张培新)