

冬季北部湾海水溶解游离氨基酸分布 及与环境因子关系

姜双城, 郑爱榕*, 权有强

(厦门大学海洋学系, 福建省高校海洋化学及应用技术重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 对北部湾海域冬季水体溶解游离氨基酸(DFAA)的分布特征及其影响因素进行了分析. 结果表明: (1) 冬季北部湾海域 DFAA 含量各层的平面分布较为均匀, 在 $0.17 \sim 1.73 \mu\text{mol/L}$ 之间, 263 个样品 DFAA 浓度平均值为 $0.36 \pm 0.13 \mu\text{mol/L}$; (2) DFAA 含量的垂直分布规律较为明显, 随深度增加而增加; (3) DFAA 与海水中的 3 种无机氮盐(NO_3^- -N, NO_2^- -N 及 NH_4^+ -N)呈正相关, 与表层和底层溶解氧(DO)浓度不相关; (4) 沿岸区 DFAA 浓度受外界影响较为明显(尤其在昌化江入海处), 海区的游离氨基酸浓度与该海域典型渔场有明显的相关性, 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); 北部湾

中图分类号: P 734.2

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2007)S1-0043-06

氨基酸是组成蛋白质的基本单元, 在海洋中有很广泛的分布. 氨基酸在海洋溶解相中主要以溶解游离氨基酸(DFAA)和溶解结合态氨基酸(DCAA)两种形式存在. DFAA 是海洋氮循环的重要中间产物, 在微生物的作用下通过脱氨作用可直接转变为有机酸和氨氮. DFAA 的含量变化与水体的生物量、生物的新陈代谢密切相关, 并受海水运动及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有重要意义.

国外不少学者对 DFAA 进行过广泛的调查研究^[1-4], 但国内这方面的研究报道并不多见^[5-8]. 本文结合我国近海海洋综合调查 ST09 区块 2006 年 12 月~2007 年 1 月的冬季航次调查, 测定了北部湾海域水体中溶解游离氨基酸的含量, 拟探讨其分布特征及其与环境因子的关系.

1 样品采集和分析

1.1 采样时间、站位和方法

北部湾位于南海西北部, 为天然的半封闭式浅水海湾, 海底地形平坦, 平均水深 38 m, 大部分水深为 20~60 m; 海水表层温度 $21.94 \sim 26.97^\circ\text{C}$, 为亚热带海洋性气候; 北部湾海域分布有 3 种水团: 高温高盐

的南海水团, 次高温高盐的粤西水团, 湾西沿岸水团; 北部湾以全日潮为主, 潮流流速一般为 2 节左右; 北部湾海域为我国的第四大渔场.

样品采集于 2006 年 12 月~2007 年 1 月, 调查站位为我国近海海洋综合调查 ST09 区块冬季航次的站位. 位于北部湾北纬 $17.226^\circ \sim 21.481^\circ$ 、东经 $107.630^\circ \sim 109.748^\circ$ 的海域, 该航次共布设 76 个海水化学站位(图 1). 用葵花式 Go-flo 采水器分别采集表层、5 m/10 m 层、30 m 层和底层水样. 水样采集后立即用孔径为 $0.45 \mu\text{m}$ 的混合纤维酯微孔滤膜过滤, 装入聚乙烯瓶中, 加入三氯甲烷, 冷冻(-20°C), 回实验室解冻至室温后测定游离氨基酸, 其他项目的测定均在现场完成.

1.2 分析项目及方法

溶解氧(DO)用碘量法^[9]; 硝酸盐氮(NO_3^- -N)用钼锑还原比色法测定^[9]; 亚硝酸盐氮(NO_2^- -N)使用奈乙二胺分光光度法测定^[9]; 氨氮(NH_4^+ -N)使用次溴酸钠氧化法测定^[9]; 活性磷(PO_4 -P)使用磷钼蓝法测定^[9]; DFAA 使用邻苯二甲醛荧光分光光度法(OPA)测定(激发波长 365 nm, 发射波长 452 nm, 高压 480 V, 以甘氨酸为标准^[10]).

2 结果与讨论

2.1 北部湾海区游离氨基酸的含量范围

本航次数据按表层、中层(5、10 和 30 m)及底层进行分析. 表 1 是 2006 年 12 月~2007 年 1 月北部湾

收稿日期: 2007-04-25

基金项目: 我国近海海洋综合调查与评价(908 专项)资助

* 通讯作者: arzheng@xmu.edu.cn

表 1 北部湾海域水体 DFAA 含量
Tab. 1 The concentrations of DFAA in Beibu Bay ($\mu\text{mol/L}$)

站位	表层	中层	底层	站位	表层	中层	底层
B35	0.32	0.33	0.43	J26	0.33	0.31	0.36
B36	0.26	0.26	0.38	J34	0.58	0.98	0.52
B38	0.39	0.28	0.35	J41	0.33	0.41	0.42
B40	0.36	0.26	0.36	J38	0.25	0.26	0.36
B34	0.3	0.26	0.28	J36	0.35	0.38	0.28
B32	0.33	0.3	0.36	J42	0.43	0.33	0.35
B30	0.41	0.41	0.46	J44	0.32	0.3	0.3
B24	0.33	0.36	0.49	J46	0.36	0.61	0.3
B26	0.28	0.38	0.29	J51	0.38	0.3	0.36
B28	0.3	0.3	0.29	J49	0.33	0.75	1.7
B21	0.42	0.26	0.25	J47	0.33	0.31	0.36
B19	0.35	0.55	0.49	J52	0.48	0.34	0.29
B17	0.28	0.36	0.33	J54	0.38	0.37	0.3
B15	0.38	0.33	0.48	J56	0.38	0.33	0.29
B08	0.33	0.43	0.3	J57	0.41	0.33	0.3
B10	0.41	0.3	0.26	J59	0.58	0.37	0.35
B12	0.25	0.42	0.33	J61	0.36	0.35	0.35
B14	0.29	0.3	0.42	J66	0.29	0.33	0.32
B07	0.32	0.51	0.33	J64	0.33	0.27	0.39
B05	0.36	0.26	0.45	J62	0.3	0.32	0.48
B03	0.41	0.35	0.36	J67	0.26	0.25	0.33
B01	0.17	0.41	0.32	J69	0.3	0.33	0.26
J03	0.22	0.37	0.49	J71	0.33	0.46	0.29
J05	0.29	0.26	0.33	J76	0.3	0.37	0.38
J07	0.22	0.38	0.3	J74	0.51	0.49	0.52
J15	0.28	0.29	0.29	H05	0.26	0.36	0.33
J12	0.41	0.45	0.28	H02	0.32	0.42	0.35
J10	0.26	0.32	0.29	J78	0.33	0.3	0.44
J08	0.35	0.29	0.29	H11	0.32	0.42	0.26
J17	0.48	0.6	0.66	H08	0.3	0.31	0.58
J25	0.26	0.29	0.38	H06	0.38	0.29	0.33
J19	0.26	0.29	0.38	J80	0.26	0.39	0.44
J21	0.38	0.35	0.44	J82	0.33	0.35	0.29
J23	0.38	0.35	0.44	H12	0.35	0.37	0.36
J30	0.36	0.42	0.35	H14	0.33	0.35	0.41
J28	0.33	0.3	0.36	H17	0.25	0.36	0.25
平均值					0.34	0.37	0.38

海域水体 DFAA 的含量. 从表 1 可知: 北部湾区的 DFAA 在 $0.17 \sim 1.70 \mu\text{mol/L}$, 平均含量为 $0.36 \pm 0.13 \mu\text{mol/L}$. 其游离氨基酸含量与闽台浅滩渔场上升流区^[6]的 DFAA 含量($0.43 \pm 0.26 \mu\text{mol/L}$)相差不大. 因为北部湾是南海海域重要的渔场, 我国著名

的涠洲渔场、莺歌海渔场、昌化渔场、白马井-西口渔场等都在该海域内. 冬季加利福尼亚沿岸水体其游离氨基酸的含量($0.72 \mu\text{mol/L}$)为北部湾的两倍多^[11], 因加利福尼亚为美国西海岸的经济重地, 其沿岸不但有发达的农业生产, 密集的人口, 而且位于黑潮暖流、

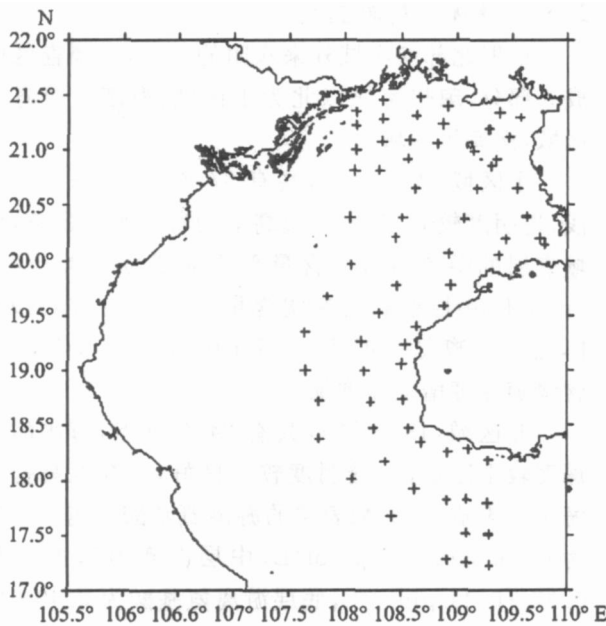


图 1 站位分布图

Fig. 1 Location of sampling stations

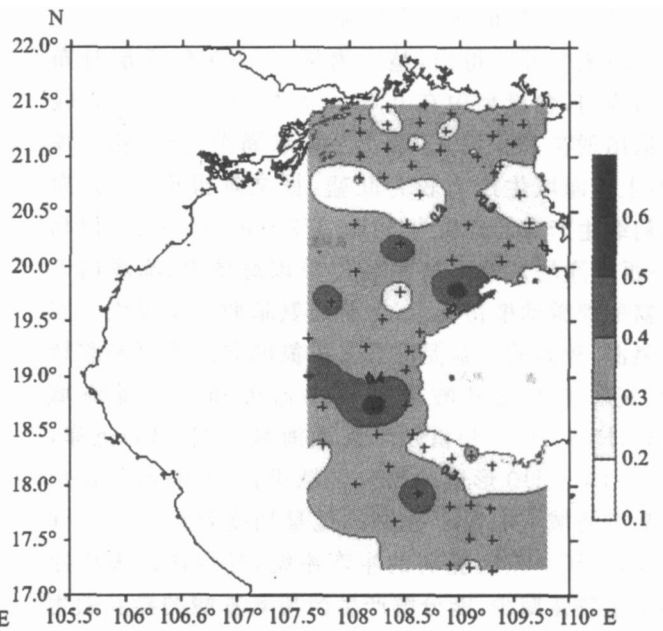


图 2 DFAA 的表层平面分布

Fig. 2 The horizontal distribution of DFAA in surface layer

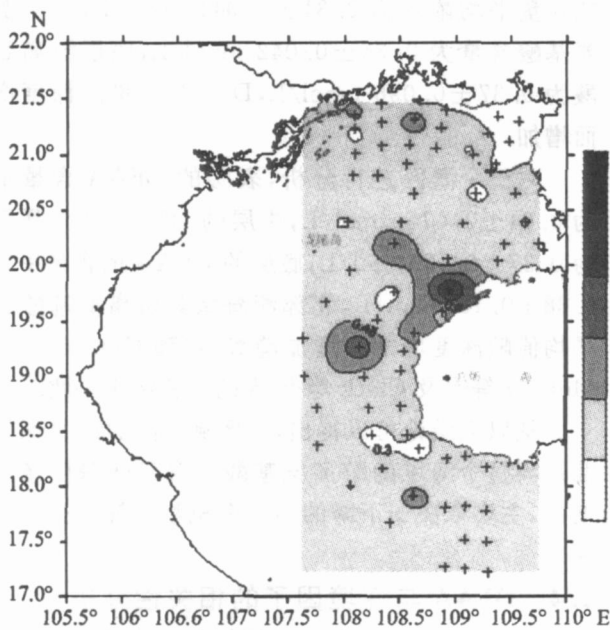


图 3 DFAA 的中层平面分布

Fig. 3 The horizontal distribution of DFAA in middle layer

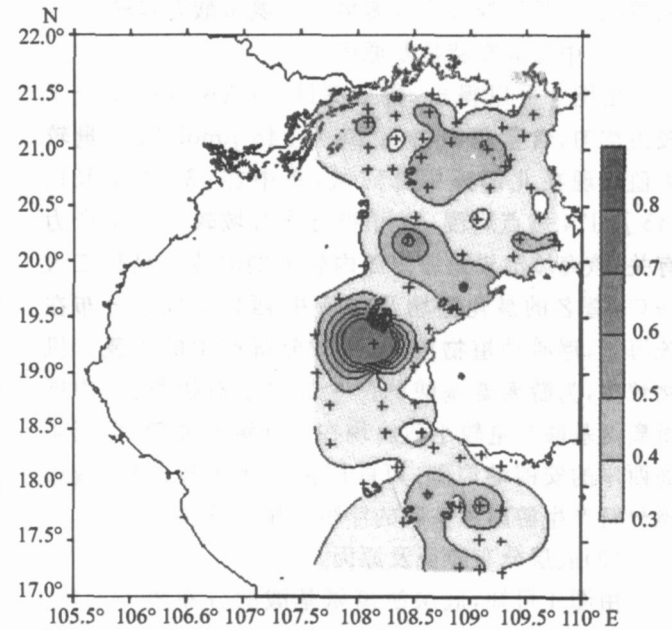


图 4 DFAA 的底层平面分布

Fig. 4 The horizontal distribution of DFAA in bottom layer

亲潮寒流及里曼寒流等不同水系形成的锋区内. 九龙江口 DFAA 的含量 ($0.69 \mu\text{mol/L}$) 是北部湾两倍^[5], 这与九龙江口营养化程度较高有关. 其冬季无机氮的平均含量为 $52.09 \mu\text{mol/L}$, 无机磷的平均含量为 $1.17 \mu\text{mol/L}$, 水体中初级生产力水平为 $84.90 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ^[12]. 此外, 沿岸有发达的农业生产, 人口分布密集, 陆源有机物丰富. 冬季北部湾海域无机氮的平均含量为 $2.15 \mu\text{mol/L}$, 无机磷的平均含量为 0.021

$\mu\text{mol/L}$, 水体中初级生产力水平为 $8.05 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 北部湾北部海域沿岸不存在较大的河流, 南部海域—海南岛西海岸有八条较小的河流和一条流量较大的昌化江, 但大多已成季节性河流, 所以陆源输入对局部海域可能会产生较为明显的影响, 但对整个海域 DFAA 含量的影响不大, 因此该海域 DFAA 主要来自海洋内部的生物地球化学过程.

2.2 DFAA 的含量的分布特征及影响因素

(1) 表层分布特征及原因

由图 2 可以得出, 整个海区 DFAA 的表层分布较为均匀, 含量集中在 $0.30 \sim 0.40 \mu\text{mol/L}$, 含量较大值出现在 J34、J59、J52、J74 站点周围, 分布相对集中, 上述海域生产力较为旺盛, 据文献报道^[13], 该海域初级生产力的含量为 $351 \pm 172 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 白马井西口渔场及莺歌海渔场位于该海域内, 渔场内有丰富的浮游动植物资源, 为游离氨基酸产生提供了有机氮源, 较高的水温促进了有机氮源向游离氨基酸转化. 表层游离氨基酸含量较小值分布在三亚海域 (J67, H05, H17) 和雷州半岛西海岸 (J07, J15) 近岸, B01—J03—J10 形成的狭长区域里, 三亚海域及雷州半岛西海岸可能由于渔民的过量捕捞及港口内溢油污染, 破坏了该区脆弱的生态系统, 导致该区表层浮游动植物量减少, 能分解产生游离氨基酸的异养微生物及有机氮源减少; 而 B01—J03—J10 狭长区域浓度过小, 可能由于该海域海上钻井平台的溢油, 造成海区浮游生物量减少, 进而导致形成游离氨基酸的有机氮源减少, 最终导致上述海域游离氨基酸含量较小.

(2) 中层分布特征及原因

由图 3 可以得出, 整个海区 DFAA 的中层分布较为均匀, 含量集中在 $0.30 \sim 0.45 \mu\text{mol/L}$, 含量较大值出现在北部湾中部海域, 集中在 J34、J46、J31、J45 及 J74 站点周围, 这可能与该海域较高的生产力有关, 该海域沿岸是海南岛内较大的河流—昌化江入海口, 著名的昌化渔场及白马井西口渔场也分布在该海域, 浮游动植物较多, 代谢分解产生的含氮有机物较多, 为游离氨基酸的产生提供了有机氮源. 中层游离氨基酸含量较小值出现在北部湾东北部, 雷州半岛西岸的安铺港周围, 可能因港口污染较严重, 造成能分解产生游离氨基酸的浮游动植物减少.

(3) 底层分布特征及原因

由图 4 可知, 底层游离氨基酸的分布较为均匀, 浓度集中在 0.30 和 $0.45 \mu\text{mol/L}$, 在 J34、J31、J49 周围有含量较大值出现, 而且底层在涠洲岛周围 (B29, B35, B23, B15, B19, J03) 也有较大值出现, J34、J31、J49 出现较大值可能与该海域存在较高的生产力及海岸带植被有关, 该海域沿岸分布有红树林自然保护区, 由红树林有机质作起点的食物链生物非常丰富, 为游离氨基酸的产生提供了丰富的有机氮源; 涠洲岛周围游离氨基酸浓度较大可能与涠洲岛渔场及丰富的底栖生物资源有关; 其它站点周围含量分布较为均匀, 基本无极小浓度区间, 可能因海域沉积物向水体释放有机氮源, 使整个海域游离氨基酸含量分布较为均匀.

2.3 DFAA 的垂直分布

根据北部湾海域外来水团的特点, 将调查区域分成 3 部分, 琼州海峡以北为 I 区域, 海南岛西海岸 II 区域, 南海 III 区域.

I 区域: B35—J26, 共有 37 个站点, 海水深度较浅, 透明度较差, 受次高温高盐的粤西水团影响, 该海域表层的游离氨基酸含量平均浓度为 $0.33 \pm 0.077 \mu\text{mol/L}$, 中层游离氨基酸含量为 $0.36 \pm 0.13 \mu\text{mol/L}$, 底层游离氨基酸为 $0.37 \pm 0.089 \mu\text{mol/L}$, DFAA 含量随深度增加而增加.

II 区域: J34—J74, 共有 24 个站点, 海水的平均深度较 I 区域深, 透明度较 I 区好, 受高温高盐的南海水团影响, 该海域表层的游离氨基酸含量平均浓度为 $0.36 \pm 0.079 \mu\text{mol/L}$, 中层游离氨基酸含量为 $0.37 \pm 0.11 \mu\text{mol/L}$, 底层游离氨基酸为 $0.40 \pm 0.28 \mu\text{mol/L}$, DFAA 含量随深度增加而增加.

III 区域: H05—H17, 共有 11 个站点, 海水深, 透明度好, 属于南海边缘区域, 该海域表层的游离氨基酸含量平均浓度为 $0.31 \pm 0.041 \mu\text{mol/L}$, 中层游离氨基酸含量为 $0.36 \pm 0.042 \mu\text{mol/L}$, 底层游离氨基酸为 $0.37 \pm 0.096 \mu\text{mol/L}$, DFAA 含量随深度增加而增加.

对整个海区进行分析, 表层的 DFAA 含量平均为 $0.34 \pm 0.075 \mu\text{mol/L}$, 中层的 DFAA 的含量平均为 $0.37 \pm 0.12 \mu\text{mol/L}$, 底层的 DFAA 的含量平均为 $0.38 \pm 0.18 \mu\text{mol/L}$, 北部湾海域其游离氨基酸含量平均值随深度增加有增加趋势. 这和 Garrasi 等^[14], Mopper 等^[2] 及 Clark 等^[11] 人的研究结果一致.

从以上结论可以得出, I 区域, II 区域, III 区域及北部湾整个海域的游离氨基酸的含量随深度增加而增加, 主要取决于下降的固态有机物在深层分解的结果.

2.4 DFAA 与环境因子的相关性分析

(1) DFAA 与 3 种无机氮相关性分析

氮是藻类生长所必需的营养元素, 也是构成海洋生物体内蛋白质的重要元素. 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. 将 DFAA 与水体中营养盐氮的数据进行线性回归处理^[15] 结果如表 2.

底层游离氨基酸浓度与亚硝酸盐与硝酸盐高度相关, 表层水体游离氨基酸浓度与亚硝酸盐和硝酸盐具有较高的相关性, 底层和表层的游离氨基酸浓度与氨氮的相关性一般.

(2) DFAA 与溶解氧 (DO) 的相关性分析

大部分海洋动植物生命活动都需要溶解氧, 无论

表 2 DFAA 浓度与 TIN 的相关方程

Tab. 2 The regression equation of the DFAA and dissolved inorganic nitrogen

层次	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
表层	DFAA = 0.28 + 29.66NO ₂ -N (<i>r</i> = 0.85, <i>n</i> = 18, <i>p</i> < 0.01)	DFAA = 0.26 + 0.054NO ₃ -N (<i>r</i> = 0.62, <i>n</i> = 18, <i>p</i> < 0.05)	DFAA = 0.28 + 0.19NH ₄ -N (<i>r</i> = 0.46, <i>n</i> = 18, <i>p</i> < 0.05)
底层	DFAA = 0.025 + 113.04NO ₂ -N (<i>r</i> = 0.54, <i>n</i> = 18, <i>p</i> < 0.01)	DFAA = 0.41 + 0.018NO ₃ -N (<i>r</i> = 0.60, <i>n</i> = 18, <i>p</i> < 0.01)	DFAA = 0.40 + 0.16NH ₄ -N (<i>r</i> = 0.44, <i>n</i> = 18, <i>p</i> < 0.01)

表 3 DFAA 浓度与 DO 的相关方程

Tab. 3 The regressive equation of the DFAA and DO

层次	DFAA 与溶解氧(DO)的 回归方程	相关站位
表层	DFAA = 0.502 - 0.018DO (<i>r</i> = 0.076, <i>n</i> = 21)	B03 B10 B19 B34 B38 B40 J17 J46 J49
底层	DFAA = 1.09 - 0.090DO (<i>r</i> = 0.11, <i>n</i> = 21)	J51 J54 J57 J59 J62 J67 J74 H05 H11 H17

其分泌、排泄溶解有机物, 还是死亡机体和碎屑固态有机物的分解过程都需要溶解氧, 因而分析它们的相关性有一定的意义, DFAA 与溶解氧(DO)的相关性分析结果如表 3。由表 3 可知, 表层和底层水样中溶解氧的浓度与游离氨基酸的含量没有相关性。这可能与该海域海水深度较浅, 溶解氧的饱和度较大有关, 还需要进一步研究。

3 结 论

(1) 冬季北部湾海域 DFAA 的含量与闽南-台湾浅滩渔场上升流区相近, 但比河口海区小一个数量级, 表明沿岸游离氨基酸含量受陆源影响显著, 海区受浮游动植物数量影响显著。

(2) 冬季游离氨基酸平面分布较均匀, 垂直分布随深度增加而增加, 但变化幅度不大。

(3) 表层和底层水体中 DFAA 与 DO 没有相关性, 但与 3 种无机氮盐呈正相关关系, 表明营养盐氮是影响氨基酸含量的显著因素。

致谢: 感谢郑立东、陈丁、王春卉、刘春兰、吕娥、刘瑞华、邱雨生、杨志等帮助采样、水样过滤、营养盐和 DO 测定。感谢林培梅协助水样 DFAA 的测定, 吴易超提供冬季初级生产力数据, 邹俊毅制作平面图。

参考文献:

[1] Liebezeit G. Dissolved free amino acid and carbohydrates at pycnocline boundaries in Sargasso Sea and related microbial activity[J]. *Oceanologica Acta*, 1980, 3: 357-362.

[2] Mopper K. Diel and depth variation in dissolved free amino acid and ammonium in Baltic Sea determined by shipboard HPLC analysis[J]. *Limnol Oceanogr*, 1982, 27: 336-347.

[3] Hake B. Ammino acid, hexosamine and carbohydrate fluxes to the deep subarctic Pacific[J]. *Deep-Sea Research*, 1993, 40(3): 547-560.

[4] Sellner K G, Nealley E W. Diel fluctuations in dissolved free amino acids and monosaccharides in Chesapeake Bay dinoflagellate blooms[J]. *Marine Chemistry*, 1997, 56: 193-200.

[5] 周慈由, 张歌丽, 杨逸萍, 等. 九龙江河口游离氨基酸的分布和特征[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1996, 35(3): 403-406.

[6] 洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究[C]. 北京: 科学出版社, 1991: 218-223.

[7] 宁修仁, 胡钦贤, 朱碧英, 等. 海水氨基酸荧光微量测定法及浙江近海夏季总游离氨基酸的分布[J]. *海洋学报*, 1984, 5(增刊): 862-869.

[8] 郑爱榕, 沈海维, 李文权, 等. 大亚湾海域溶解游离氨基酸及其与环境因子的关系[J]. *海洋科学*, 2001, 25(10): 43-47.

[9] 国家海洋局 908 专项办公室编. 海洋化学调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.

[10] Parsons T R, Maita Y, Lalli C M. A manual of chemical and biological method for sea water analysis[M]. Oxford: Pergamon Press, 1984: 5-80.

[11] Clark M E, Jackson G A, North W J. Dissolved free amino acids in southern california coastal waters[J]. *Limnol Oceanogr*, 1972, 18: 749-758.

[12] 李文权, 黄贤芒, 陈清花, 等. 厦门海沧沿岸水域初级生产力及其与环境的关系[J]. *热带海洋*, 1999, 18(3): 51-57.

[13] 刘子琳, 宁修仁, 蔡昱明. 北部湾浮游植物粒径分级叶绿素 a 和初级生产力的分布特征[J]. *海洋学报*, 1998, 20(1): 50-57.

[14] Garrasi C. The free amino acid composition of seawater obtained without desalting and preconcentration[J]. *Marine Chemistry*, 1979, 8: 71-85.

[15] 杨世莹. Excel 2002 函数、统计与分析应用范例[M]. 北

京: 中国青年出版社, 2003.

Distribution of Dissolved Free Amino Acids and Its Relationships with Environment Factors in Winter in Beibu Gulf

JIAN G Shuang-cheng, ZHENG Ai-rong^{*}, QUAN You-qiang

(Department of Oceanography, Fujian Universities Marine Chemistry and Applied Technology
Key Laboratory, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Distribution of dissolved free amino acids (DFAA) and its relationships with some environmental factors in winter waters of Beibu Gulf were studied. The results showed that the concentration range of DFAA was $0.17 \sim 1.73 \mu\text{mol/L}$ and the average concentration of DFAA for 263 samples was $0.36 \pm 0.13 \mu\text{mol/L}$. The vertical distributions of DFAA concentrations showed a slight increase with the increase of depth. The concentrations of DFAA were moderately correlated with the dissolved inorganic nitrogen (including $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$), but there was no correlation with concentrations of DO in bottom and surface waters. The DFAA in coastal zone were apparently influenced by terrestrial inputs, especially Changhua River estuary. The correlation between free amino acids in the whole areas and the typical sea fisheries was significant, suggesting biological effects maybe the main factors controlling the distribution of DFAA in this area.

Key words: dissolved free amino acids (DFAA); Beibu Gulf

(上接第 24 页)

Abstract: Due to hostile propagation characteristics of the underwater acoustic channels such as large propagation delay, serious multi-path interference and intensive space-time-frequency variation, design of the multiple-access protocol of underwater acoustic sensor network is a challenging task. The goal of this paper is to carry out simulation research on the underwater acoustic sensor network with ALOHA multiple-access protocol. The Opnet network simulation software is adopted to build ALOHA underwater acoustic sensor network which consisting of 4 or 8 sensor nodes and 1 central receiver node. The relationship between the network performance and the parameters such as the size of data packet, the average time interval of data generation as well as the distance between the sensor node and receive node is investigated with the simulated experimental data, indicating that the throughput performance can be optimized via suitable selection of the network parameters aforementioned.

Key words: underwater acoustic sensor network; ALOHA protocol; Opnet; simulation