

# 胶州湾海水中一氧化碳的分布与海-气通量研究\*

王为磊<sup>1</sup>, 陆小兰<sup>1</sup>, 杨桂朋<sup>1\*\*</sup>, 任春艳<sup>1,2</sup>, 王晓蒙<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 青岛农业大学化学与药学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:** CO是大气中的重要痕量气体,它对控制大气中羟基自由基的浓度、参与全球碳循环进而影响全球气候变化等方面起着重要作用。本研究分别于2007年6、8和10月开展了3个航次的调查,对胶州湾海水中CO的时空分布进行了研究。3个月中胶州湾表层海水中CO的浓度分别为(4.90±2.24), (6.31±1.56)和(3.50±1.27) nmol/L,表现出明显的季节性变化,其中8月大于6月大于10月。水平分布上,6月和10月沿岸平均浓度高于同航次湾内和湾口的平均浓度;8月沿岸平均浓度小于本航次湾内和湾口平均浓度。分别将3个月中CO的浓度按取样和测试时间以小时为单位分割求平均值,平均浓度和时间的分布关系总体符合周日变化的规律。但是胶州湾东部近岸站位的浓度出现周日变化的异常值,说明人文活动对CO的分布也起重要作用。结合中国大气中CO的平均浓度(0.329×10<sup>-6</sup> v/v)可知胶州湾表层海水中CO处于绝对的过饱和状态,6、8和10月3个月过饱和系数分别为(18.2±8.3), (20.6±5.1)和(10.3±5.28)。胶州湾CO的海-气通量6月大于10月,而小于8月。

**关键词:** 一氧化碳; 胶州湾; 通量; 分布

**中图分类号:** P734.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-5174(2010)06-121-06

一氧化碳(CO)是大气中重要的痕量气体,由于在全球变暖中发挥着重要作用,CO受到了越来越多的关注<sup>[1-2]</sup>。CO在很大程度上决定着地球大气的氧化能力,由于它是控制平流层大气中羟基自由基(OH)浓度的主要因素,因此间接影响着大气中温室气体的存留时间<sup>[3-5]</sup>。通过对全球大部分海洋海水的调查发现,与海面上方的大气相比,海水中CO处于不同程度的过饱和状态<sup>[6-10,21]</sup>,海洋是大气CO的净源。而表层海水中CO主要来源于有色有机物(CDOM)的非生物光降解<sup>[11-15]</sup>,近岸海水由于受到人类活动影响较大,一般污染比较严重,溶解有机物质含量高,因此,近岸海水CO含量要高于大洋水。目前,各国科学家已对全球许多海域中CO的来源、分布、海气通量、生消机制等进行了广泛的研究。而我国对海洋中CO的研究才刚刚起步。本研究在2007年对胶州湾进行了3个航次的调查,分析和探讨了该海域表层海水中CO的浓度分布及其可能的影响因素,以期对胶州湾CO浓度的变化特征研究以及进一步开展中国海域CO的研究提供参考。

## 1 水样采集及分析方法

### 1.1 调查海域概况

胶州湾位于山东半岛南部,是中国南黄海沿岸深

入内陆的最大的半封闭水域。它被青岛环绕,其面积约423 km<sup>2</sup><sup>[16-17]</sup>。胶州湾大部分水域非常浅,不足5 m,最深处是接近湾口处的狭长海槽(70 m),此处受潮水影响剧烈,水流甚急,流速可达150 cm/s。胶州湾口非常狭窄,只有2.5 km宽,连接着南黄海。湾内水体与开阔大洋水的交换速率很高,半交换期为5 d,胶州湾是典型的半日潮型,最大潮差为2.71 m<sup>[16-17]</sup>。流入胶州湾的大小河流有十几条,流量最大的是大沽河,每年径流量约为6.61×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,其他河流大部分流经青岛市区,是工业和生活污水流入胶州湾的主要渠道<sup>[17-18]</sup>。随着青岛经济的飞速发展,工农业和生活污水的大量输入,使人类活动对胶州湾的影响日渐加剧。每年有大约23.0×10<sup>7</sup> a<sup>-1</sup>的污水(40%为工业废水)排入胶州湾<sup>[17,19]</sup>。水体污染的加重,水中溶解有机物的增加,使得近岸海水呈现出与大洋水相异的特征,有望成为CO重要的来源。

### 1.2 分析方法

2007年6月3日、8月5日和10月17日在胶州湾进行了3次现场调查,每次设置5个断面19个观测站位(见图1)。现场采用2 L的Niskin采水器采集表层水样。然后通过壁厚0.25英寸的特氟龙管将水样吸入酸洗过的50 mL注射器。样品采集后,用注射器定

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(4060023);国家杰出青年科学基金(40505017);山东省科技攻关项目(2006GG2205024);山东省“泰山学者”建设工程专项经费资助

收稿日期:2009-03-13;修订日期:2009-06-03

作者简介:王为磊(1982-),男,博士生。E-mail:weileiwang@gmail.com

\*\* 通讯作者;E-mail:gpyang@ouc.edu.cn

容器精确控制水样体积,随后注入精确体积的CO零空气(CO零空气:不含CO的高纯N<sub>2</sub>,由CO分析仪给出),用摇摆试验机(广东塘厦飞蝗高精仪器有限公司)摇晃5 min(120 r/min),气液平衡后通过阻水滤膜(0.2 μm Nuclepore Teflon filter, Φ 13 mm)将顶空气体注入CO分析仪测定(Trace Analytical, Ametek, USA),详细的分析测试方法参见Xie等<sup>[20]</sup>。由于紫外光照射能产生CO,所以整个实验在弱紫外光或无紫外光的条件下进行;CO取样完毕后,立即取一定体积水样用预先500℃焙烧过的玻璃纤维滤膜(Whatman GF/F, φ 47 mm)过滤,滤液加HgCl<sub>2</sub>固定,4℃冷藏保存带回实验室,分析时取出,直接用总有机碳分析仪(TOC-V, Shimadzu)测定<sup>[23]</sup>。

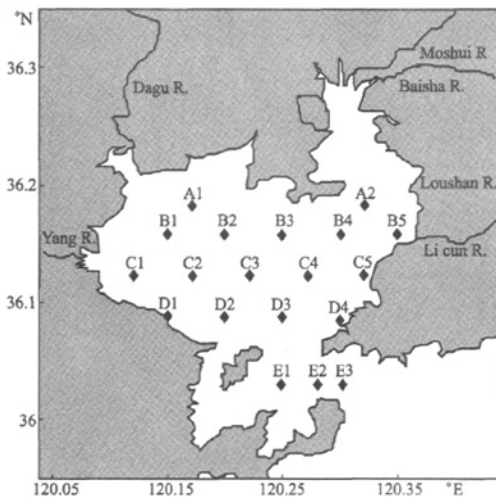


图1 胶州湾采样站位

Fig. 1 Sampling stations in Jiagou Bay

## 2 结果与讨论

### 2.1 CO 的分布特征

胶州湾6、8和10月表层海水中CO的浓度见表1,其浓度范围分别为1.55~9.63、2.78~8.53和0.97~5.14 nmol/L,平均值分别为(4.90±2.24)、(6.31±1.56)和(3.50±1.27) nmol/L,表明CO的浓度在8月大于6月再大于10月。该浓度与文献<sup>[33]</sup>报道的秋季沿岸和边缘海的表层海水中CO的浓度范围是一致的(0.6~6.1 nmol/L)。此外,由表1可知,6月和10月胶州湾沿岸站位(A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D4)的CO平均浓度分别为5.73和7.42 nmol/L<sup>-1</sup>,其值略大于同航次湾内和湾口其他站位的平均浓度(4.35和6.95 nmol/L<sup>-1</sup>);而8月沿岸站位的平均浓度为6.05 nmol/L<sup>-1</sup>,略小于湾内站位的平均浓度6.50 nmol/L<sup>-1</sup>。

### 2.2 影响表层海水CO分布的因素

表层海水中的CO主要是由海水中的CDOM经光照产生,而其移除主要是通过微生物的降解<sup>[31-32]</sup>。Stubbins等<sup>[5]</sup>曾报道在开阔大洋混合层通过微生物降解移除的CO占光致生成CO的90%。Xie等<sup>[32]</sup>也曾对此做出报道,并指出即使在海面湍动的情况下与海气交换相比,微生物消耗仍是CO主要的汇。因此表层海水中的DOC的含量可能直接影响到CO的浓度。由表1可知,6月、8月和10月胶州湾沿岸站位的DOC平均浓度分别为2.10, 1.77和7.42 mg/L<sup>-1</sup>,而湾内DOC平均浓度分别为1.98, 1.73和6.95 mg/L<sup>-1</sup>,可见6月和10月胶州湾东部沿岸CO的浓度略大于湾内站位的平均浓度,而8月基本保持一致。6月和10月CO浓度和DOC浓度分布的一致性说明DOC在一定程度上影响CO的浓度分布。在8月,由于雨水量大,DOC在水平分布上没有明显差异,但其DOC的浓度明显小于其它2个月份,这可能是因为高浓度的CO是DOC分解的结果,进一步造成DOC浓度偏低;另外在表层海水CO的控制因素中,如光照强度和微生物浓度等也许更为重要。

根据采样时间分别将3个航次的浓度以1h的间隔分割后取平均值,再以各平均值对时间作图,如图2所示。由图2可知:尽管取样日期不同,但是,3个月的CO浓度对时间的关系大致相同:早晨CO的浓度较低,随时间逐渐升高,到12:00左右达到高值,随后浓度降低。但是每个月浓度对时间的分布又各有异常:6月07:00和08:00时间段的平均浓度要高于中午的浓度,在这个时间段的取样站位为D4, C5, B5站;8月08:00和15:00的浓度偏高,尤其是15:00时间段平均浓度最高,在这2个时间段取样的站位分别为B5, D4站;10月09:00时间段的平均浓度相对偏高,在此时间段取样站位为B5, A2, B4站。由图1可知,这些偏高异常值所在站位都位于胶州湾东部近岸海域,紧靠青岛市区,受人文活动影响较大。特别需要指出的是B5、C5和A2站:B5站位于李村河和板桥河河口处,受陆源输入影响较大,所以在6月和8月都显示了与取样时间不相符的高值,C5站位于电镀厂排污口,A2位于娄山河河口,这些受陆源影响较大的站位都显示出较高的CO浓度。Jones<sup>[22]</sup>报道表层海水中CO的浓度有明显周日变化,并指出在周日变化过程中中午的最高浓度与凌晨的最低浓度可相差2~20倍。Stubbins等<sup>[5]</sup>也曾做出相关报道,指出最高浓度和最低浓度的相差倍数为5~7倍。本研究虽然以不同站位的CO浓度对时间作图,整体上仍然符合周日变化的特征,此次调查只研究了白天的变化,夜晚没有涉及;而文献报道的是连续站的周日变化。由于各站位浓度的地域差异和缺少

夜晚最低浓度的参考,所以,本研究最高值与最低值之间的浓度差别比文献值要小。

表1 胶州湾6月、8月、10月的CO浓度、取样时间和DOC浓度

Table 1 The concentration of CO along with the sampling time and the concentration of DOC in Jiaozhou Bay in June, August and October 2007

站位 Station	6月			8月			10月		
	取样时间 Sampling time	CO浓度 CO conc- entration	DOC浓度 DOC conc- entration	取样时间 Sampling time	CO浓度 CO conc- entration	DOC浓度 DOC conc- entration	取样时间 Sampling time	CO浓度 Co conc- entration	DOC浓度 DOC conc- entration
		/nmol · L <sup>-1</sup>	/mg · L <sup>-1</sup>		/nmol · L <sup>-1</sup>	/mg · L <sup>-1</sup>		/nmol · L <sup>-1</sup>	/mg · L <sup>-1</sup>
A1	13:50	4.39	2.15	10:50	6.70	2.57	10:44	2.59	20.44
A2	9:10	6.11	2.29	9:00	2.78	1.92	9:35	4.72	3.51
B1	14:20	6.02	2.28	11:05	5.07	1.56	11:00	3.30	5.98
B2	13:35	6.15	2.28	10:35	5.29	1.44	10:29	4.20	3.13
B3	10:30	6.54	1.97	10:00	6.57	1.84	10:08	3.33	3.07
B4	9:30	1.55	2.11	9:20	3.69	2.07	9:50	3.78	5.16
B5	8:45	9.63	1.96	8:40	6.10	1.45	9:12	5.14	5.50
C1	14:55	3.37	2.10	11:25	6.90	1.71	11:32	4.98	4.59
C2	12:00	6.24	2.29	11:50	7.29	1.76	11:17	3.15	9.53
C3	11:00	6.28	2.01	10:20	8.20	2.00	12:16	5.13	4.42
C4	10:00	6.00	1.87	9:40	6.14	1.97	12:32	5.14	3.50
C5	8:15	6.38	1.99	14:45	4.37	2.15	8:42	2.74	2.67
D1	15:55	3.45	2.01	11:50	7.94	1.51	11:42	4.46	4.79
D2	11:30	6.84	2.17	12:00	8.47	1.74	11:56	—	9.24
D3	16:20	1.76	1.84	12:30	6.82	1.38	13:15	2.68	5.72
D4	7:45	5.95	2.05	15:10	8.53	1.33	8:25	1.48	11.89
E1	17:00	1.69	1.77	12:55	5.93	1.82	13:33	2.39	13.53
E2	17:25	2.39	1.74	13:17	6.08	1.53	13:48	2.91	16.34
E3	17:50	2.39	1.70	13:25	6.98	1.45	14:05	0.97	2.88
均值 Average		4.90	2.03		6.31	1.75		3.50	7.15

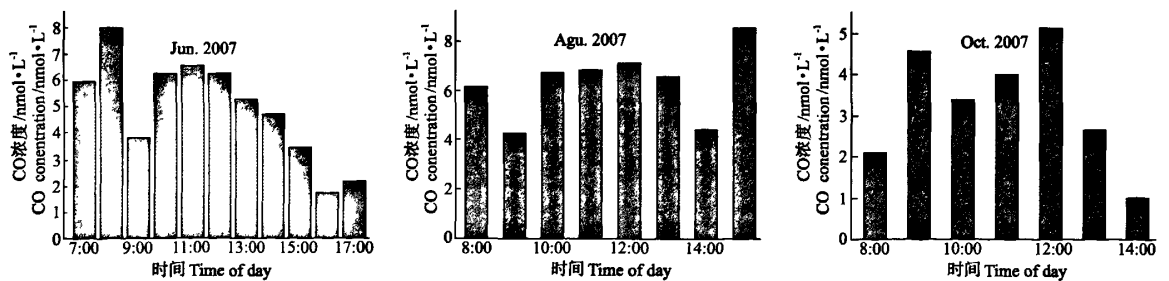


图2 6、8月和10月CO的浓度随时间的变化

Fig. 2 Variation in the concentrations of CO with time of day in Jiaozhou Bay in June, August and October 2007

6月、8月处于夏季,光照时间最长、光照强度大,10月进入秋季光照时间和强度都有相当程度地减弱<sup>[24]</sup>,这就使得在这3个月中6月、8月CO浓度明显

高于10月。此外,6月的紫外线强度略高于8月,6月与8月的日辐射峰值却相差不大<sup>[24]</sup>,然而,本研究8月CO的浓度却高于6月,这主要是由于取样时间不同造

成,8月CO的取样测量时间集中在08:00~15:00,而6月的取样测试时间分散在07:00~17:00,而就1天的不同时段来说10:00~15:00的辐射量占了1天中的绝大部分,达日总辐射量的53%以上<sup>[24]</sup>。由此可见,8月的取样测试时间绝大部分集中在了1天中太阳紫外线辐射最强的时段,而6月虽然总辐射量要强于8月,但是由于取样时间分散,使得平均浓度低于8月,但是中午相同时段,2个月CO浓度相当。此外,降水也是影响CO浓度的1个重要因素,Swinnerton<sup>[34]</sup>报道雨水中溶存CO的过饱和度相对高于空气,因此确定雨水也是CO的1个源,8月是汛期,8月中旬青岛地区降水达到全年旬降水量的最大值<sup>[25]</sup>,大量的降水也可能在一定程度上导致了8月胶州湾表层浓度的偏高。

### 2.3 CO的海-气通量

CO在海-气界面的交换通量由下式求得:

$$F=k(C_{obs}-C_a)$$

其中: $F$ 为通量(单位: $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), $C_{obs}$ 为现场测量得到的表层海水的浓度, $C_a$ 为与海面上方空气中CO浓度平衡的CO浓度,由现场的温、盐数据及Bunsen<sup>[27]</sup>系数求得。由于实验条件的限制,没有测量胶州湾海域上方大气的CO浓度值,采用文献<sup>[26]</sup>中报道的大气中CO的平均浓度( $0.329 \times 10^{-6}$ 体积分数)进行海气通量的计算。 $k$ 为气体交换常数(单位: $\text{cm/h}$ ),分别采用Liss和Merlivat<sup>[28]</sup>建立的模型(LM86)和Wanninkhof<sup>[29]</sup>建立的模型(W92)计算。两种模型计算得到的 $k$ 值均需校正:模型LM86的 $k$ 值乘以系数 $(600/Sc)^n$ (风速 $<3.6 \text{ m/s}$ 时 $n=2/3$ ,风速 $>3.6 \text{ m/s}$ 时 $n=1/2$ ),模型W92的 $k$ 值乘以系数 $(Sc/660)^{-0.5}$ 。

Sc值通过下式得出:

表2 胶州湾6月、8月、10月的CO通量及过饱和系数

Table 2 The sea-to-air flux and supersaturation ratio( $\alpha$ ) of CO in Jiaozhou Bay in June, August and October 2007

调查时间 Time	$F_{LM86}/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	$F_{W92}/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	$\alpha$ (本研究)范围 Range of $\alpha$ (This study)	$\alpha$ 平均值 Average of $\alpha$
2007-06	$5.11 \pm 2.47$	$8.61 \pm 4.16$	5.74~35.67	$18.2 \pm 8.3$
2007-08	$5.44 \pm 1.41$	$9.94 \pm 2.57$	6.01~24.26	$20.6 \pm 5.1$
2007-10	$4.91 \pm 1.93$	$7.57 \pm 2.97$	4.76~11.03	$10.3 \pm 5.28$

### 3 结语

胶州湾表层海水中CO的分布主要受到光照的影响,总体表现为中午浓度高,早晨和下午浓度低;浓度分布的结果同时表明人类活动也在很大程度上影响表层CO的浓度。胶州湾表层海水CO的浓度具有明显

$$Sc_{CO} = -0.055 3T^3 + 4.382 5T^2 (140.07T + 2 134$$

$T$ 为摄氏温度<sup>[30]</sup>。通量的精度很大程度上取决于 $k$ 值的精确度,而 $k$ 值的精度又是由所采用的风速决定。本文采用胶州湾月平均风速作为计算标准。

$C_{obs}$ 的计算方法详见Xie等<sup>[20]</sup>, $C_a$ 的计算方法详见Stubbins等<sup>[5]</sup>,过饱和系数 $\alpha$ 为:

$$\alpha = C_{obs}/C_{eq} \times 100\%$$

3个航次CO的海-气通量和过饱和系数汇总于表2。由表2可知:胶州湾海水在2007年6、8和10月的过饱和系数分别为5.74~35.67,6.01~24.26和4.76~11.03,平均值分别为 $(18.2 \pm 8.3)$ , $(20.6 \pm 5.1)$ 和 $(10.3 \pm 5.28)$ ,落在文献<sup>[6,9-10]</sup>报道的范围内,相对于大气中CO浓度处于绝对的过饱和状态,表明胶州湾海水是大气CO的源。由平均的过饱和系数可以看出:8月过饱和度最高,10月过饱和度最低。与浓度的季节分布一致。从表2还可以得出:6、8和10月由模型LM86计算得海-气交换通量分别为 $(5.11 \pm 2.47)$ , $(5.44 \pm 1.41)$ 和 $(4.91 \pm 1.93) \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ,而由W92计算得3个月的通量分别为 $(8.61 \pm 4.16)$ , $(9.94 \pm 2.57)$ 和 $(7.57 \pm 2.97) \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 。6月和8月采用W92计算的海气通量明显高于LM86的计算值,10月采用W92计算的海气通量明显低于LM86的计算值,这主要是由于3个月的平均风速不同造成的,因为LM86是三段式方程,不同的风速对应不同的计算公式。但不管采用那种计算公式胶州湾的通量都高于文献<sup>[5]</sup>报道的北半球海洋的日平均通量 $(1.9 \pm 1.3) \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ,可见胶州湾的日平均通量要大于北半球海洋的日平均通量。因此可以推断近岸及陆架区在估算全球CO海-气通量中的作用是不能被忽略的。

的季节变化,表现为8月浓度最高,6月次之,10月最低。3个月中胶州湾表层海水均处于绝对的过饱和状态,表明胶州湾海水是大气CO的净源。海-气通量在6、8和10月分别为 $(5.11 \pm 2.47)$ , $(5.44 \pm 1.41)$ 和 $(4.91 \pm 1.93) \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (LM86)及 $(8.61 \pm 4.16)$ , $(9.94 \pm 2.57)$ 和 $(7.57 \pm 2.97) \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (W92),季节变化表现为8月大于6月大于10月。

## 参考文献:

- [1] Khalil M A K, Rasmussen R A. The global cycle of carbon-monoxide; trends and mass balance. *Chemosphere* 1990, 20 (1-2): 227-242.
- [2] Ramanathan V, Cicerone R J, Singe H B, et al. Trace gas trends and their potential role in climate change. *Journal of Geophysical Research*, 1985, 90: 5547-5556.
- [3] Prather M, Ehhalt D, Dentener F, et al. Chapter. 4: Atmospheric chemistry and greenhouse gases [M]. //Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, Eds., *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of working group 1 to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 239-287.
- [4] Thompson A M. The oxidizing capacity of the earth's atmosphere-probable past and future changes [J]. *Science*, 1992, 256(5060): 1157-1165.
- [5] Stubbins A, Uher G, Kitidis V, et al. The open-ocean source of atmospheric carbon monoxide [J]. *Deep-Sea Research II* (53), 2006: 1685-1694.
- [6] Swinnerton J W, Linnenbom V J, Cheek C H. Distribution of methane and carbon monoxide between the atmosphere and natural waters [J]. *Environmental Science and Technology*, 1969, 3: 836-838.
- [7] Swinnerton J W, Linnenbom V J, Lamontagne R A. Ocean: A nature source of carbon monoxide [J]. *Science*, 1970, 167: 984-986.
- [8] Seiler W, Junge C. Carbon monoxide in the atmosphere [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1970, 75: 2217-2226.
- [9] Lamontagne R A, Swinnerton J W, Linnenbom V J. Nonequilibrium of carbon monoxide and methane at the air-sea surface [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1971, 76: 5117-5121.
- [10] Seiler W, Schmidt V. Dissolved non-conservative gases in sea water, in the sea [M] //Goldberg E D, John wiley, *Marine chemistry*, New York: [s. n.], 1974: 219-243.
- [11] Wilson D F, Swinnerton J W, Lamontagne R A. Production of carbon monoxide and gaseous hydrocarbons in seawater: relation to dissolved organic carbon [J]. *Science*, 1970, 168: 577-579.
- [12] Conrad R, W Seiler. Photooxidative production and microbial consumption of carbon monoxide in seawater [J]. *FEMS Microbiology Letters*, 1980, 9: 61-64.
- [13] Parsons T R, Maita Y, Lalli C M. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis* [M]. Oxford: Pergamon Press, 1984.
- [14] Redden G D. Characteristics of photochemical production of carbon monoxide in seawater [D], M. S. thesis, Oregon State Univ. Corvallis, 1982.
- [15] Ronald D, Jones, Jos, A. Amador. Methane and Carbon monoxide production, oxidation, and turnover times in Caribbean Sea as influenced by the Orinoco River. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98, NO. C2: 2353-2359.
- [16] Liu R Y. Characteristics of physical environmental of Jiaozhou Bay [M]. //Liu R Y Ed., *Ecology and Biological Resources of Jiaozhou Bay*. Beijing: Science Press, 1992, pp. 2-3(in Chinese, with English abstract).
- [17] Guiling Zhang, Jing Zhang, Jie Xu, et al. Distributions, sources and atmospheric fluxes of nitrous oxide in Jiaozhao Bay [J]. *Estuary, Coastal and Shelf Science*, 2006, 68: 557-566.
- [18] Yan J, Bao X W, Wang H, et al. Three dimensional simulation transportation and diffusion of pollutant COD in Jiaozhou Bay [J]. *Research in Environmental Science*, 2001, 14(2), 14-17(in Chinese).
- [19] Qingdao Environment Protection Bureau. *Bulletin of Environment Status of Qingdao* [M]. Qingdao: Qingdao Environment Protection Bureau, 2003.
- [20] Xie H, Andrews S S, Martin W R, et al. Validated methods for sampling and headspace analysis of carbon monoxide in seawater. *Marine Chemistry*, 2002, 77: 93-108.
- [21] 杨桂朋, 王晓蒙, 陆小兰. 海洋中 CO 的研究进展 [J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2006, 36(4): 530-534.
- [22] Jones R D. Carbon monoxide and methane distribution and consumption in the photic zone of the Sargasso Sea [J]. *Deep-Sea Research*, 1991, 38(6): 625-635.
- [23] Ogawa H, Usui T, Koike I. Distribution of dissolved organic carbon in the East China Sea [J]. *Deep-Sea Research II*, 2003, 50: 353-366.
- [24] 王晶, 侯红英. 青岛地区太阳紫外线辐射研究 [J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2006, 36(4): 671-676.
- [25] 郭盛蓉. 青岛地区夏季降水特征分析 [J]. *海洋湖沼通报*, 2005, 1: 1-5.
- [26] Lam K S, Wang T J, Chan L Y, et al. J. Flow patterns influencing the seasonal behavior of surface ozone and carbon monoxide at a coastal site near HongKong [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, 35: 3121-3135.
- [27] Denis A, Wiesenburg and Norman L. Guinasso, Jr. Equilibrium Solubilities of Methane, Carbon Monoxide, and Hydrogen in Water and Sea Water [J]. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 1979, 24(4): 356-360.
- [28] Liss P S, Merlivat L. Air sea gas exchange rates: introduction and synthesis [M]. //Buat-Me'nard P Ed., *The Role of Air - Sea Exchange in Geochemical Cycling*. D. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1986: 113-127.
- [29] Wanninkhof R. Relationships between windspeed and gas exchange over the ocean [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97(C5): 7373-7382.
- [30] Zafiriou O C, Xie H, Nelson N B, et al. Diel carbon monoxide cycling in the upper Sargasso Sea near Bermuda at the onset of spring and in midsummer [J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53: 835-850.
- [31] Ronald D, Jones. Carbon monoxide and methane distribution and consumption in the photic zone of the Sargasso Sea [J]. *Deep-Sea Research*, 1990, 38(6): 625-635.
- [32] Xie H, Zafiriou O C, Umile T P, et al. Biological consumption of carbon monoxide in Delaware Bay, NW Atlantic and Beaufort Sea [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, 290: 1-14.
- [33] Ronald D, Jones, José A Amador. Methane and Carbon monoxide production, oxidation, and turnover times in the Caribbean Sea as influenced by the Orinoco River [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(C2): 2353-2359.

- [34] Swinnerton J W, Lamontagne R A, Smith W D. Carbon Monoxide concentrations in surface waters of the east tropical Pacific in 1974: comparison with earlier values [J]. *Marine Chemistry*, 1976, 4: 57-65.

## The Distribution and Sea-to-Air Flux of Carbon Monoxide in Jiaozhou Bay

WANG Wei-Lei<sup>1</sup>, LU Xiao-Lan<sup>1</sup>, YANG Gui-Peng<sup>1</sup>, REN Chun-Yan<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-Meng<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. College of Chemistry&Pharmacy, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** Carbon monoxide(CO) play an important role in regulating the atmospheric concentration of hydroxyl radicals, participating in the global carbon cycle and thus affecting the global climate change. Three cruises were conducted to investigate the distribution of CO in the surface waters of Jiaozhou Bay on 3<sup>rd</sup> June, 5<sup>th</sup> August and 17<sup>th</sup> October, 2007, respectively. The surface water CO concentrations in June, August and October were  $(4.90 \pm 2.24)$ ,  $(6.31 \pm 1.56)$  and  $(3.50 \pm 1.27)$  nmol/L, respectively, with the highest mean concentration occurred in August and the lowest in October. In the horizontal distribution, the coastal stations had higher average concentrations than the corresponding offshore stations in June and October; In contrast, the offshore stations had higher average concentration in August than coastal stations. The concentrations of CO in the surface water, as a whole, followed diurnal variations after classifying and averaging the CO concentrations according to sampling and analyzing time in the unit of one hour. The exceptional values of CO concentrations in the diurnal cycle were all found at the eastern coastal stations, illustrating that the anthropogenic activities had a significant impact on the distribution of CO concentration. The concentrations of CO in the surface seawater were considerably higher than those could be accounted with atmospheric CO. The mean supersaturation ratios of CO during three cruises were  $(18.2 \pm 8.3)$ ,  $(20.6 \pm 5.1)$  and  $(10.3 \pm 5.28)$ , respectively. The sea-to-air flux of CO in June was higher than that in October, but lower than that in August. The CO concentrations were not correlated with chlorophyll a level, but were found increasing with elevated DOC concentrations in June and August.

**Key words:** carbon monoxide; Jiaozhou Bay; flux; distribution

责任编辑 徐环