

【调查与研究】

九龙江河口生物地球化学元素通量的初步模拟

洪华生, 曹文志, 岳世平, 张玉珍

(厦门大学 海洋环境科学教育部重点实验室, 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 按照 LOICZ 的模拟指南, 九龙江河口区采用单箱模型模拟其生物地球化学元素的通量。结果表明, 九龙江河流输入河口区系统的 DIP 通量为 $2.81 \times 10^7 \text{ mol/a}$, 交换流带入河口区 DIP 通量为 $10.93 \times 10^7 \text{ mol/a}$, 因此, 净沉淀量为 $8.05 \times 10^7 \text{ mol/a}$ 。九龙江河流输送河口区系统的 DIN 通量为 $73.47 \times 10^8 \text{ mol/a}$, 它远高于 DIP 的通量。因此, 此河口区系统内部有 $7.66 \times 10^8 \text{ mol/a}$ 的差额才能达到平衡。

关键词: 陆海相互作用; 生物地球化学元素通量; 九龙江河口

中图分类号: P593 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2001)04-0001-04

Preliminary biogeochemical budget in Jiulong River Estuary

HONG Hua-sheng, CAO Wen-zhi, YUE Shi-ping, ZHANG Yu-zhen

(Ministry of Education, Marine Environmental Science Laboratory, Environmental Science Research Centre, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The LOICZ biogeochemical element budget model was tested in Jiulong River Estuary, the result indicated that riverine input of DIP is $2.81 \times 10^7 \text{ mol/a}$, and the DIP of $10.93 \times 10^7 \text{ mol/a}$ of mixing flow is significantly larger than to DIP from river and residence flow, so the net internal sink of DIP totals $8.05 \times 10^7 \text{ mol/a}$ across the system. The DIN input from river is $73.47 \times 10^8 \text{ mol/a}$ which is much larger than the DIP from residence flow and mixing flow. The internal sink of ΔDIN , is $7.66 \times 10^8 \text{ mol/a}$ in order to balance the river input.

Key words: LOICZ; biogeochemical element fluxes; Jiulong River Estuary

海岸带地区的陆海相互作用(LOICZ)是国际地圈生物圈计划的核心项目, 其研究内容和目的包括, 主要生物地球化学元素的全球循环(C、N、P); 海岸带地区的生物地球化学过程影响物质通量的机制以及该物质通量与环境变化、生态系统健康之间的关系。为此, 1995年, LOICZ工作组按照 LOICZ 的要求, 在加拿大的 Bedford 海洋研究所, 制定了“LOICZ 河口区生物地球化学模拟指南”^[1], 为全球各地海岸带地区的平均地球化学通量模拟提供

了一个框架标准, 使全球不同的海岸带地区可以利用有限的数椐, 在一个可比的范围内, 对主要的生物地球化学元素通量进行分析, 依此外推出未知区域的生物地球化学元素通量。从而在全球的尺度上, 得出全球海岸地区的生物地球化学元素通量概况。本文利用 LOICZ 河口区生物地球化学模拟指南, 在九龙江河口区采用单箱模型, 模拟 DIN 和 DIP 的通量, 该研究与国际研究接轨的同时, 也验证了该模型在九龙江河口区系统的使用情况。

收稿日期: 2001-03-09, 修改稿收到日期: 2001-06-22

基金项目: 国家教育部博士点专项基金资助项目(1999038411)

作者简介: 洪华生(1955), 女, 福建厦门人, 教授, 博士生导师, 主要研究河口与海洋的生物地球化学循环。

1 研究范围及概况

九龙江发源于福建省西南部博平山脉东麓,流经两市6县,为福建省第二大河。流域面积 $1.47 \times 10^4 \text{ km}^2$,有北溪、西溪、南溪三条主要支流,北溪为主干流。九龙江多年平均径流量为 $148 \times 10^8 \text{ m}^3$,存在一定的季节变化。九龙江河口区位于厦门港西南部(图1),东西长21 km,南北宽平均为6.5 km。口小腹大,河口区地理上相对封闭,适宜于河口区生物地球化学元素通量的估算研究。



图1 九龙江河口区

Fig. 1 Jiulong River Estuary

该区为典型的亚热带河口区,气候温和,雨量充沛,生物资源丰富,初级生产力较高。多年平均气温 20.9°C ,降水量 1772 mm 。河口水温全年波动在 $13 \sim 32^\circ\text{C}$ 。pH 值变化为 $7.77 \sim 8.47$,平均 8.18 ,河口区已记录浮游植物58属155种,浮游动物143种。前者以广温性种类为主,优势种有中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)和具槽直链藻[*Melosira subcata* (Ehr.) Kutz]等^[2]。九龙江入海口在厦门西海域,西海域是厦门的港口、码头区和海水养殖区,也是城市污水排泄区,因此,九龙江河口区的生物地球化学平衡比较复杂。

2 研究方法

近年来,不少学者致力于九龙江口元素地球化学研究,特别是河口P和Se以及其他痕量元素的生物地球化学研究,已有一定的深度和广度^[2]。本文的研究是根据陆海相互作用

河口区生物地球化学模拟的要求进行的。

实际上,河口区任何物质随时间变化的平衡,可以用式(1)来表示。因此,河口区水、盐度以及生物地球化学元素的平衡都是根据此式计算的。

$$\frac{dM}{dt} = \sum \text{Input} - \sum \text{Output} + \sum (\text{Sources} - \text{Sinks}) \quad (1)$$

式中: $\frac{dM}{dt}$ 为河口区系统物质随时间的平衡; $\sum \text{Input}$ 为物质各项输入之和; $\sum \text{Output}$ 为物质的各项输出之和; $\sum (\text{Sources} - \text{Sinks})$ 为系统内部物质相互转化各项源、汇差额的和,其中 Sources 是源,而 Sinks 为汇。

2.1 河口区水的平衡估算

采用单箱模型,假设河口区各种物质达到静态平衡,以简化各种计算,即式(1)中 $\frac{dM}{dt}$ 达到了平衡, $\frac{dM}{dt} = 0$,那么,考虑河口系统的各项输入和输出,可得计算水分平衡的公式(2)。

$$0 = \sum (V_Q + V_P + V_G + V_O + V_R + V_X) - \sum (|V_E| + V_X) \quad (2)$$

式(2)中: V_Q 为河流流量; V_P 为降水量; V_E 为河口水面的蒸发量,由于蒸发相对于河口系统来讲,是一个水分绝对散失的过程,应为负值,为避免正负混淆,这里用绝对值符号再加上“-”来表示水分的散失; V_G 为地下水补给量; V_O 为其他补给量; V_R 为余流。按照 LOICZ 定义,在河口系统水量平衡的条件下,有多少淡水进入系统,就有相应的水量流出系统,这部分水量称为 V_R ,根据该定义就可确定 V_R (见公式3); V_X 为交换流量,指临近海域流入和流出河口系统水量之间的差,这里 V_X 未知,有待于进一步确定。

$$V_R = -V_Q - V_P - V_O - V_G + |V_E| \quad (3)$$

蒸发量 V_E 的计算,是根据 Penman 方程计算多年平均的月自由水面的蒸发量而得的。

2.2 河口区盐度的平衡估算

由(1)式可得河口区盐度平衡估算公式:

$$0 = \sum (V_Q S_Q + V_P S_P + V_G S_G + V_O S_O + V_R S_R + V_X S_{\text{occean}}) - \sum (|V_E| S_E + V_X S_{\text{system}}) \quad (4)$$

显然, V_Q 、 V_P 、 V_E 、 V_G 、 V_O 的盐度 S_Q 、 S_P 、 S_E 、 S_G 、 S_O 为 0, 根据 LOICZ 的模拟指南, S_R 为邻海的盐度 S_{occean} 和河口系统的盐度 S_{system} 的平均值^[1]。此时, V_X 很容易由公式(4)确定。已知 V_X 条件下, 可以计算水滞流于整个河口区系统的时间:

$$\tau = \frac{V_{\text{system}}}{(V_X + |V_R|)} \quad (5)$$

2.3 生物地球化学元素平衡的估算

洪华生等^[3]的研究证明, 与其他输入相比, 大气干湿沉降对九龙江河口区 P 的通量可以忽略不计。因此可认为地下水、降水以及其他补给对河口区 DIP 通量相对较小可以忽略。类似地, 这里对 DIN 也做同样的假设。因此, 河口区 DIP 和 DIN 的平衡可以由公式(6)进行计算:

$$\Delta Y = -V_R Y_R - V_Q Y_Q - V_X (Y_{\text{occean}} - Y_{\text{out}}) \quad (6)$$

其中: Y_R 为河口系统生物地球化学元素的浓度; Y_Q 为河流该元素的浓度; Y_{occean} 为邻海的该元素浓度; Y_{out} 为交换流中的浓度, 这里与河口系统内物质的浓度相同^[1]。

水、盐度和生物地球化学元素平衡各项参数的数据, 源于福建省海岸带和海涂资源综合调查报告^[4]和洪华生^[6]、陈水土等^[5]的研究。

3 结果及讨论

3.1 水和盐度的平衡

在假设对河口区的地下水补给 V_G 和其他方式的输入 V_O 均为 0 条件下, 经计算, 得到水与盐度的平衡估算见图 2 和图 3。在九龙江河口区, V_E 为 $1.16 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 略大于 $V_P 1.02 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 两者对整个河口水量平衡的贡献均较小。九龙江河流的输送高达 $148 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。最后, 计算 V_R 可得 $147.86 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

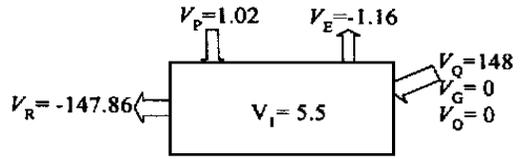


图 2 九龙江河口区水的平衡估算(单位: $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)

Fig. 2 Water flux budget in Jiu long River Estuary ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)

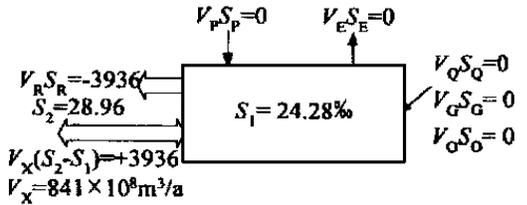


图 3 九龙江河口区盐度的平衡估算

Fig. 3 Salinity flux budget in Jiulong River Estuary

在盐度 S_Q 、 S_P 、 S_E 、 S_G 、 S_O 为 0 的条件下, 容易得到盐度的平衡(图 3)。由盐度的平衡公式可得到 V_X 为 $841 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 即九龙江河口区系统年平均与外海水体交换的数量。水体的滞留时间为 2.03 d。

3.2 DIP 和 DIN 的平衡

DIP 的平衡数据见图 4。九龙江河流输送进入河口系统的 DIP 通量为 $2.81 \times 10^7 \text{ mol/a}$, 交换流带入河口区的 DIP 为 $10.93 \times 10^7 \text{ mol/a}$, 余流则带出的 DIP 通量为 $5.69 \times 10^7 \text{ mol/a}$ 。因此, 九龙江河口区系统内部有 $8.05 \times 10^7 \text{ mol/a}$ 的差额。

DIN 的平衡见图 5。九龙江河流输送进入河口区系统的 DIN 通量为 $73.47 \times 10^8 \text{ mol/a}$, 交换流带出河口区的 DIN 为 $32.88 \times 10^8 \text{ mol/a}$, 余流带出的 DIN 为 $32.92 \times 10^8 \text{ mol/a}$ 。因此, 九龙江河口区系统内部将有 $7.66 \times 10^8 \text{ mol/a}$ 的差额才达到平衡。

DIP 和 DIN 平衡的估算结果, 说明了九龙江河口区 DIP 和 DIN 的生物地球化学具有明显不同的机制。通过河流输送的 DIP 通量与交换流而进入河口系统的 DIP 通量差别较大, 后者是前者的 3.9 倍。也就是说, 河口区

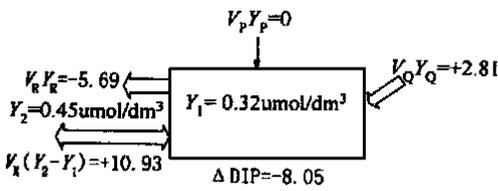


图4 九龙江河口区 DIP 的平衡估算

(单位: $\times 10^7 \text{ mol/a}$)

Fig. 4 DIP flux budget in Jiulong River Estuary

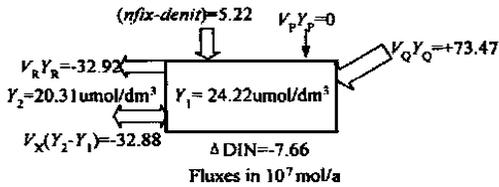


图5 九龙江河口区 DIN 的平衡估算

(单位: $\times 10^8 \text{ mol/a}$)

Fig. 5 DIN flux budget in Jiulong River Estuary

相邻近的厦门西海域可能是整个河口区 DIP 的主要来源。陈水土^[5]的研究也证明了陆源的 DIP 并非是九龙江河口区 DIP 的主要来源,原因来自于活性磷酸盐的生物地球化学性质,在 DIP、PP(颗粒磷)等在九龙江河口区咸淡水混合过程中,水体中的悬浮颗粒物对 P 的吸附—脱附—再吸附作用,使活性磷酸盐的含量随盐度的变化出现一定的变化。陈水土等的研究证实^[5],九龙江河口区 DIP 随着盐度的增大而增大,盐度较高的区域,增加的趋向更加明显,这是由于被九龙江河水中较高含量的悬浮物吸附了较多的 DIP,到了河口区之后,在河水和海水的混合过程中有所解吸,造成了九龙江 DIP 的输送通量较小,而河口区、特别是高盐度区的 DIP 含量较高。总而言之,厦门西海域高的污水排放量和 P 本身的生物地球化学性质使九龙江河口区系统的 DIP 通量比较特殊。九龙江河口区高的生物生产力、P 不同形态之间的相互转化以及悬浮颗粒物的吸附和沉积总量达 $8.05 \times 10^7 \text{ mol/a}$,使河口区系统的 P 通量达到了平衡。

DIN 的各项平衡机制相对简单,九龙江

河流的 DIN 输送通量相当高,交换流和余流带出的 DIN 不足于平衡整个河口区的 DIN 通量,理论上是河口区高的生物生产力所吸附的 DIN 以及其他的 DIN 输出,使整个河口的 DIN 达到平衡。

4 结论

经过模拟证明, LOICZ 的模拟方法简单实用,与多人的研究结果相符^[5,6],证明了 LOICZ 模型在九龙江河口区的可用性。另外该模拟结果可以用于亚热带的生物地球化学元素平衡估算对比和外推研究。

值得注意的是,从整个九龙江流域来看,九龙江具有较大的输送 P 的潜力。为简化计算起见,假设整个流域有 10% 的土地面积为耕地和果园,按磷肥 60 kg/hm^2 (折纯量) 的平均施肥量来计算,则九龙江河流 DIP 的输送通量仅为整个流域施肥量的 1%。因此,九龙江流域具有较大的输送 P 的潜力,而且农业活动贡献的份额将越来越大。

参考文献:

- [1] GORDON Jr D C, BOUDREAU P R, MANN K H, *et al.* LOICZ Biogeochemical Modeling Guidelines [R]. LOICZ Reports & Studies No 5, 1996.
- [2] 杨逸萍,胡明辉. 九龙江河口的生物地球化学研究 [A]. 张经. 中国主要河口的生物地球化学研究 [C]. 北京:海洋出版社,1996. 54-67.
- [3] HONG H S, SHANG S L. The input fluxes of phosphorus in Xiamen Western Sea [A]. ZHANG J. Land & Sea Interaction in Chinese Coastal Zones [C]. Beijing: China Ocean Press, 1998. 144-157.
- [4] 福建省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 福建省海岸带和海涂资源综合调查报告 [M]. 北京:海洋出版社, 1990.
- [5] 陈水土,阮五崎,郑瑞芝,等. 九龙江口、厦门西海域磷的生物地球化学研究·I 水体中溶解态磷与颗粒态磷的含量、分布与转化 [J]. 海洋学报, 1993, 15(1): 32-70.
- [6] 洪华生,郭劳动,陈敬虔,等. 九龙江河口颗粒磷的分布特征 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1989, 28(1): 74-78.