# 胶州湾营养盐环境容量计算*

葛 明 王修林** 阎 菊 石晓勇 祝陈坚 蒋凤华

(中国海洋大学 青岛 266003)

**提要** 根据营养盐在多介质海洋环境,包括海水、浮游植物、浮游动物、悬浮颗粒和沉积物中分布动力学模型建立了胶州湾溶解无机氮(DIN)和磷酸盐(PO4-P)自净容量、环境容量和剩余环境容量的计算方法。结果表明,胶州湾营养盐自净容量夏季最大,冬季最小,春秋居中,这主要是海洋中物理、化学和生物自净过程共同作用的结果。胶州湾DIN剩余环境容量和PO4-P剩余环境容量在20世纪70年代末至80年代中期变化较小,相对一级海水水质标准下的环境容量还具有约60%的容纳能力。但自80年代中后期至90年代中后期,营养盐剩余环境容量迅速减小,其中至1997年DIN剩余环境容量已超过1级海水水质标准下环境容量的70%,而自90年代末开始DIN剩余环境容量又有所增加,而PO4-P剩余环境容量减小速度趋缓。胶州湾营养盐环境容量计算不仅可以深入了解海洋各种自净过程对特定海域容纳营养盐能力的作用,而且更为重要的是可以为排海营养盐总量控制方案的制定提供直接、科学和实用的理论基础和技术支撑。

**关键词** 营养盐,环境容量,自净过程,胶州湾,总量控制

**中图分类号** X26 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)03-0036-07

经过近20年来的发展,青岛市在胶州湾四周已形成了高度密集的沿湾产业区,同时排入胶州湾的富营养化物质总量也在迅速增加。目前每年排入胶州湾的无机氮(DIN)近万吨,其中氨氮(NH4-N)占90%左右,而磷酸盐(PO4-P)也达近千吨①。胶州湾海水中DIN和PO4-P平均浓度分别略低于三级海水水质和一级海水水质,分别为390 mg·m$^{-3}$和10 mg·m$^{-3}$,但沿岸局部海域DIN和PO4-P浓度却接近三级和二级海水水质②。近年来胶州湾,特别是沿岸海域随着富营养化程度的不断提高,营养盐结构也发生了变化[1,2],有害赤潮频发,且规模不断扩大。诱发赤潮的环境因素很多,然而海域富营养化是有害赤潮发生的必要条件[3,4]。因此,为了减少乃至最终消除有害赤潮的发生,有效的方法是减少陆源富营养化物质的排海总量。同时人们愈来愈认识到,海洋环境容量是建立陆源污染物排海总量控制方法,以及进而制定削减方案的必要科学基础和技术支撑[5]。

20世纪60年代末日本学者首先提出了环境容量CE(Environmental Capacity)的概念,1986年联合国海洋污染专家小组(GESAMP)正式定义了这一概念。随后,一些不同国家的学者[6-9]相继开展了海洋CE研究。但是,由于影响海洋营养盐变化的海洋学和生态学过程的复杂性,人们不仅尚没有建立起计算海洋CE的普遍方法,即使对相关的概念和理论也缺乏深入的研究,这严重制约了总量控制方案制定的科学性和实施的可操作性。目前,在营养盐CE计算中只考虑潮汐交换作用[10],也有研究者应用输入-输出收支平衡模型来估算营养盐CE[11],或应用模拟实验方法研究了营养盐自净过程[12],尚没有见到综合考虑中国近海海域营养盐物理、化学、生物等过程进行营养盐CE计算的报道。为此,本文应用环境污染物在多介质环境中分布模型的一般原理[13-15]建立了胶州湾营养盐CE计算方法。

## 1 营养盐在多介质海洋环境中分布动力学模型及有关CE的基本概念

根据CE的通用定义,可给出海洋营养盐环境容

* 国家自然科学基金资助项目40136020号、49976027号;国家973计划项目2001CB409703号;教育部重点项目01110号;山东省自然科学基金资助项目L2000E01号和青岛市绿色奥运资助项目200117-3(2)。

第一作者:葛明,出生于1978年,中国海洋大学硕士研究生。E-mail:ge ming@bigfoot.com

** 通讯联系人,E-mail:xlwang@mail.ouqd.edu.cn

① 青岛市环保局.2001年青岛市环境状况公报.2002

② 国家海洋局.二十世纪末中国海洋环境质量公报.2000

收稿日期:2002-08-06;修回日期:2002-10-12

量 $C_{E,N}$的定义，其中 N代表某种营养盐。$C_{E,N}$是某海区在不发生有害赤潮，并使海水中营养盐浓度满足一定海水水质要求(如国家海水水质标准)前提下，在一定时间范围内可容纳某种营养盐的量。$C_{E,N}$的大小主要决定于营养盐通过径流和大气干、湿沉降等途径进入海域后，各种海洋学和生态学过程对其的自净过程。其中主要包括通过水动力输运等作用向外海输出使营养盐自目标水团中去除的物理自净过程；通过形态转化，主要包括无机态营养盐被浮游生物吸收后又

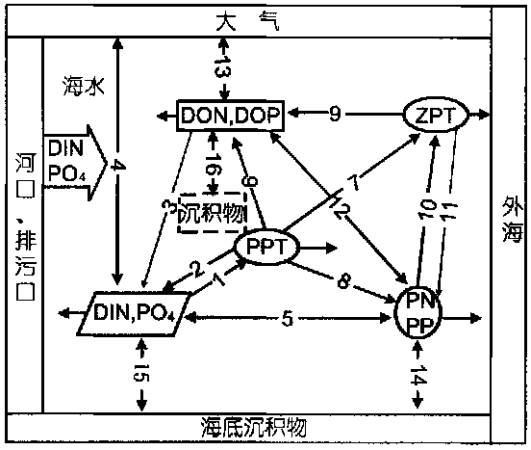


图 1 胶州湾营养盐在多介质海洋环境(包括海水、浮游植物和浮游动物、有机碎屑、海底沉积物)中分布动力学模型

其中 DIN、$PO_4$:溶解无机氮、磷酸盐；DON、DOP:溶解有机氮、磷；PN、PP:有机碎屑；PPT:浮游植物；ZPT:浮游动物。1:光合作用；2:呼吸作用；3:矿化作用；4: DIN、$PO_4$ 在海水-大气界面上的交换过程；5: DIN、$PO_4$ 与 PN、PP之间的相互转化过程；6:浮游植物体外分泌；7:浮游动物对浮游植物摄食；8:浮游植物死亡；9:浮游动物体外分泌；10:浮游动物对 PN、PP摄食；11:浮游动物死亡与粪便排泄；12: DON、DOP与 PN、PP之间的相互转化过程；13: DON、DOP在海水-大气界面上的交换过程；14: PN、PP向海底沉积物的沉积过程；15: DIN、$PO_4$ 在海水-海底沉积物界面上的交换过程；16: DON、DOP在海水-海底沉积物界面上的交换过程。“→”：各模块的外海水动力输出过程。

Fig.1 Dynamic model for distribution of nutrients among seawater, phytoplankton, zooplankton, suspended particles and bottom sediments in the Jiaozhou Bay

通过浮游生物体外分泌等转化为对浮游生物“自然”群落结构和数量无危害性的有机态化合物，而使无机态营养盐自目标水团中去除的化学自净过程；通过浮游植物吸收以及后续浮游动物摄食等而使营养盐始终存在于浮游生物体内而使海水中营养盐自目标水团中去除的生物自净过程；以及通过营养盐在海水-海底-沉积物界面上的交换过程(如吸附-解吸，沉淀-溶解，扩散)而使营养盐自目标水团中去除的地球化学自净过程[16,17]。这样，根据环境污染物在多介质海洋环境中分布模型的一般原理，综合考虑上述自净过程可建立胶州湾营养盐在多介质海洋环境(包括海水、浮游植物、浮游动物、有机碎屑和海底沉积物)中分布动力学模型(图 1)。

根据该模型(图 1)可以首先计算营养盐自净容量 $C_{SP,N}$(Self-Purification Capacity)，即在一定时间范围内通过物理、生物、化学和地球化学自净过程自目标水团去除营养盐的量：

$$C_{SP,N} = \frac{A_0 - A_t}{t - t_0} \tag{1}$$

其中 $A_0$ 和 $A_t$ 分别表示目标水团中某种营养盐在初始时间 $t_0$ 和时刻 $t$ 时的总量。进一步讲，由于营养盐的去除程度是各个相对独立的自净过程共同作用的结果，所以 $C_{SP,N}$是各个自净过程所产生 $C_{SP}$的总和：

$$C_{SP,N} = C_{SP,P} + C_{SP,B} + C_{SP,C} + C_{SP,G} \tag{2}$$

其中 $C_{SP,P}$为物理自净容量；$C_{SP,C}$为化学自净容量；$C_{SP,B}$为生物自净容量；$C_{SP,G}$为地球化学自净容量。它们即分别通过物理自净过程、化学自净过程、生物自净过程和地球化学自净过程使目标水团中营养盐去除的量。而 $C_{SP,P}$可进一步表示为：

$$C_{SP,P} = C_{SP,P-PPT} + C_{SP,P-ZPT} + C_{SP,P-DPT} + C_{SP,P-IN} + C_{SP,P-ON} \tag{3}$$

其中，P-PPT, P-ZPT, P-DPT, P-IN和 P-ON分别代表浮游植物、浮游动物、有机碎屑、溶解无机态营养盐和溶解有机态营养盐的水动力输出物理过程；$C_{SP,B}$可进一步表示为：

$$C_{SP,B} = C_{SP,B-PPT} + C_{SP,B-ZPT} + C_{SP,B-DPT} \tag{4}$$

其中，B-PPT, B-ZPT和 B-DPT分别代表浮游植物、浮游动物和有机碎屑的生物吸收过程；$C_{SP,C}$可进一步表示为：

$$C_{SP,C} = C_{SP,C-PPT} + C_{SP,C-ZPT} + C_{SP,C-DPT} \tag{5}$$

其中，C-PPT, C-ZPT和 C-DPT分别代表无机态营养盐经浮游植物、浮游动物和有机碎屑的多种生态过程向有机态转化过程；$C_{SP,G}$可进一步表示为：

$$C_{SP,G} = C_{SP,G-IN} + C_{SP,G-RE} \tag{6}$$

其中，G-IN和 G-RE分别代表溶解无机态营养盐在海水与海底沉积物界面上的交换过程和沉积物中溶解有机氮、溶解有机磷的矿化过程。

方程 2~6 中每项依据营养盐从目标水团去除的最后一步过程都可以表述为模型中一个或几个过程的通量和。应当指出，尽管各个过程 $C_{SP}$的划分依据是

营养盐从目标水团去除的最终过程，而实际上某种 $C_{SP}$的产生往往与其他过程密切联系，如对 $C_{SP,P}$有贡献的浮游植物水动力输出过程是与生物自净过程密切相关的。此外，当某个过程的 $C_{SP}>0$ 时，表示营养盐自目标水团去除，而 $C_{SP}<0$ 则表示营养盐向目标水团中富聚。

进一步而言，为了更有效评价各个过程对整个 $C_{SP,N}$的贡献，可以定义各过程 $C_{SP}$所占总 $C_{SP,N}$的百分数，即相对自净容量（Relative Self-purification Capacity）：

$$C_{SP,P}\% = \frac{C_{SP,P}}{C_{SP,N}} \times 100\% \quad (7)$$

$$C_{SP,C}\% = \frac{C_{SP,C}}{C_{SP,N}} \times 100\% \quad (8)$$

$$C_{SP,B}\% = \frac{C_{SP,B}}{C_{SP,N}} \times 100\% \quad (9)$$

$$C_{SP,G}\% = \frac{C_{SP,G}}{C_{SP,N}} \times 100\% \quad (10)$$

实际上，某过程的 $C_{SP}\%$越大，表示其对整个 $C_{SP,N}$的贡献越大，反之亦然。应当指出，由于既可能 $C_{SP}>0$，也可能 $C_{SP}<0$，因此在这种情况下既可以 $C_{SP}\%<0$，也可以 $C_{SP}\%>100\%$。

由概念模型（图 1）可知，正是由于各种自净过程的存在才使陆源输入的营养盐得以自目标水团去除，使海域具有一定的 $C_{E,N}$。因此，如果将在不发生有害赤潮，并使海水中营养盐浓度满足一定海水水质条件下的 $C_{SP,N}$定义为标准自净容量 $C_{SP,N,S}$，那么，$C_{E,N}$就是 $C_{SP,N,S}$条件下对应的营养盐输入量。在此基础上，还可以计算营养盐的剩余环境容量 $C_{SE,N}$（Surplus Environmental Capacity）。$C_{SE,N}$是指一定条件下的海洋 $C_{E,N}$与实际输入量的差值，反映了一定输入条件下该海域容纳营养盐的剩余能力，$C_{SE,N}>0$ 表示可以容纳更多的营养盐，而 $C_{SE,N}<0$ 表示营养盐输入量已超过所能容纳量，必须采取措施，减少陆源营养盐排放。

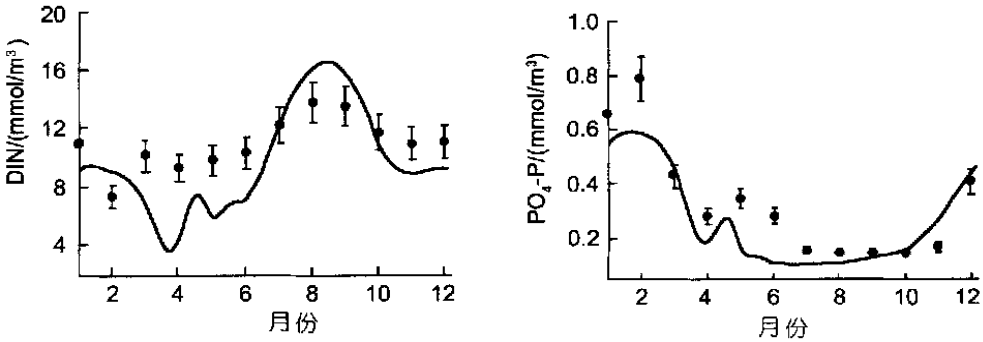


图 2　1998-1999 年胶州湾海水中 DIN（左）和 PO4-P（右）浓度的月变化（●）及其模型模拟结果（—）

Fig.2　Monthly variation of DIN (Left) and PO4-P (Right) concentrations (●) in the Jiaozhou Bay in 1998-1999 and the simulation result of the model (—)

## 2　结果与讨论

### 2.1　模型模拟结果

如图 2 所示，胶州湾海水中 PO4-P 浓度在 2～3 月份出现最大值，其后逐渐降低，至 5 月份又略有升高，并形成另一极大值，自 6 月随生物活动的加剧逐渐降低，并在 7～9 月份降至最小值，然后自 10 月开始上升直至第 2 年 2 月[2]。然而，DIN 浓度季节变化与 PO4-P 不同，首先在 1～2 月份出现一极大值，其后逐渐降低并在 4 月份左右出现最小值，然后逐渐升高并在 8～9 月出现全年的最大值，然后自 10 月逐渐降低[2]。此外，如图 3 所示，以颗粒有机碳表示的胶州湾浮游植物生物量，$PPT_{POC}$，在 12～2 月份出现最小值，然后上升，至 3～4 月间出现一个极大值，其后下降，在 5 月份形成另一极小值，然后又上升，直到 8 月出现最大值后才逐渐降低[2,18]。实际上，根据有害赤潮发生的赤潮生物密度标准推断[3]，胶州湾夏季浮游植物生物量已接近发生有害赤潮的水平。如图 2 和图 3 所示，胶州湾营养盐在多介质海洋环境中分布动力学模型（图 1）不仅可以很好模拟营养盐，包括 PO4-P 和 DIN 的季节变化，而且可以很好地模拟 $PPT_{POC}$季节变化。这表明该模型不仅可以有效地描述胶州湾营养盐在多介质海洋环境中分布动力学过程，并且可以合理地计算 $C_{SP,N}$和 $C_{E,N}$。

### 2.2　$C_{SP,N}$季节变化

如图 4 所示，$C_{SP,PO4}$和 $C_{SP,DIN}$在夏季最高，冬季最低，春秋居中。胶州湾 $C_{SP,N}$季节变化规律主要由 $C_{SP,N}$和 $C_{SP,C}$所决定，这不仅是由于两者季节变化规律与

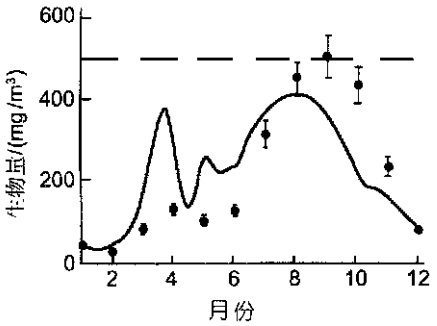


图 3　1998-1999 年胶州湾浮游植物生物量的月变化( ●)及其模型模拟结果( —)

其中“ ---”代表赤潮发生的最低警戒线

Fig.3　The monthly variation of phytoplankton biomass ( ●) in the Jiaozhou Bay in 1998-1999 and the simulation result of the model ( —)

in which “ ---” represents the guard-line of red tide

$C_{SP,N}$相似 ( 图 4) , 而且两者之和年平均分别占 $C_{SP,PO4}$ 的 110 %和 $C_{SP,DIN}$的 141 %( 图 5) 。进一步分析 , 夏季 $C_{SP,N}$出现最高值主要是由于适逢雨季 ,通过径流和降雨的营养盐输入量增大 ,由此使由水动力输运所产生的 $C_{SP,P}$达到最大 。同时 ,浮游植物生物量在夏季也达到最大值 ,由此使通过浮游植物吸收营养盐等产生的 $C_{SP,B}$也达到最大 , 并且由于水温较高 , 浮游动植物体外分泌增强 , 导致营养盐由无机态向有机态转化的 $C_{SP,C}$也增大 。冬季虽然营养盐浓度比较高 ,但由于温度和光照的限制 , 浮游植物生长几乎停止 , 使冬季浮游植物生物量处于全年的最低值 ,而且浮游生物体外分泌减至最慢 ,由此导致 $C_{SP,B}$和 $C_{SP,C}$在冬季最小 。春季浮游植物生长开始加快 ,但浮游植物体外分泌却比夏季弱 ,由此使春季 $C_{SP,B}$和 $C_{SP,C}$比夏季小 。秋季浮游植物生长开始衰减 ,浮游植物对营养盐吸收及其体外分泌的强弱程度与春季相似 。总之 , $C_{SP,P}$ 、$C_{SP,C}$ 、$C_{SP,B}$的

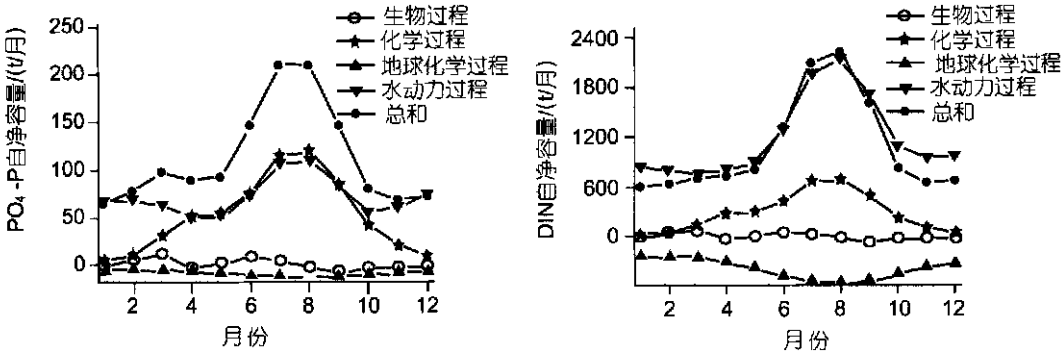


图 4　胶州湾海水中 PO4-P( 左) 和 DIN( 右) 自净容量( $C_{SP}$) 月变化曲线

Fig.4　Monthly variation of self-purification capacity ( $C_{SP}$) of PO4-P ( Left) and DIN( Right) in the Jiaozhou Bay

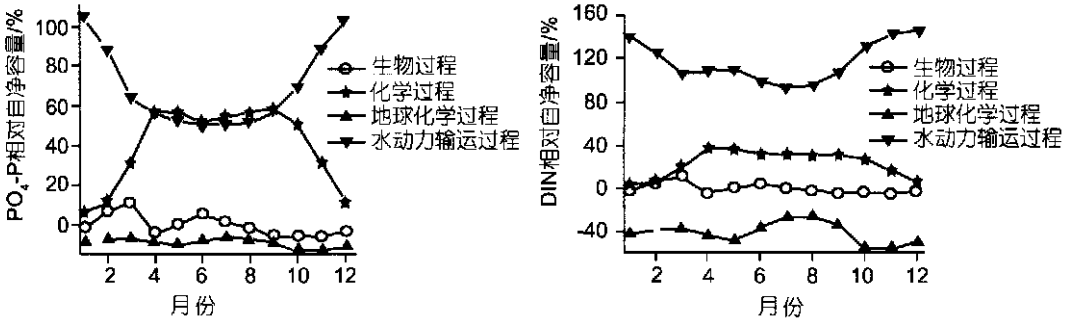


图 5　胶州湾 PO4-P( 左) 和 DIN( 右) 各过程自净容量百分比( $C_{SP}$ %) 月变化曲线

Fig.5　Monthly variation of the relative self-purification capacity of different processes ( $C_{SP}$ %) of PO4-P ( Left) and DIN( Right) in the Jiaozhou Bay

综合结果使 $C_{SP,N}$夏季最高,冬季最低,而春季和秋季处于夏季和冬季之间。

## 2.3 物理、生物、化学和地球化学过程对 $C_{SP,N}$的贡献

如图 5 所示,以全年平均计 DIN的 $C_{SP,P}$%, $C_{SP,C}$%, $C_{SP,B}$%和 $C_{SP,G}$%分别为 117.4%, 23.3%, 0.2%和 - 40.9%。同样,各个过程的 $C_{SP}$%对 $PO_4$-P而言也是 $C_{SP,P}$%最大, $C_{SP,C}$%次之, $C_{SP,B}$%较小, $C_{SP,G}$%最小,分别为 69.8%, 39.7%, - 0.3%和 - 9.2%。$PO_4$-P和 DIN的 $C_{SP,P}$在各个季节都占主要作用,而且 $C_{SP,C}$%也占有相当大的比例,可达 30%左右。由于通过浮游植物对营养盐吸收和浮游动物摄食将营养盐"固定"在浮游生物体内的量全年平均趋近于 0,由此使 $C_{SP,B}$%也趋近于 0。但是,生物活动是胶州湾具有 $C_{E,N}$的重要环节,它对 $C_{SP,P}$和 $C_{SP,C}$起了重要作用。例如,化学自净过程主要是通过浮游植物光合作用吸收 DIN和 $PO_4$-P,然后浮游生物体外分泌和有机碎屑腐化而转化为 DON和 DOP。特别重要的是,对 $C_{SP,P}$的贡献,除 DIN和 $PO_4$-P直接输出外,也包括了浮游植物、浮游动物和有机碎屑的输出。实际上,胶州湾浮游植物通过光合作用吸收 DIN和 $PO_4$-P的量分别高达近 9 000 t和 550 t,是陆源输入量的 1.12倍和 1.96倍。此外,由于 $PO_4$-P和 DIN在海水-沉积物界面上的交换过程主要表现为由沉积物向上覆水的释放,使 $C_{SP,G}$为负值,即对胶州湾海水中营养盐产生"富聚"作用。比较 $C_{SP,DIN}$与 $C_{SP,PO4}$,前者远远大于后者,这主要是由于浮游植物对 DIN的吸收数量远远大于 $PO_4$-P,而且胶州湾海水中 DIN浓度远高于 $PO_4$-P。而更重要的是,DIN的 $C_{SP,P}$% (117.4%) 远远大于 $PO_4$-P的 $C_{SP,P}$% (69.8%),这主要是因为胶州湾浮游植物生长主要表现为 $PO_4$-P限制,DIN则常年处于过剩状态,即使在浮游植物生长旺盛的夏季,海水中多余的 DIN也会源源不断地通过水动力输运过程向外海输出,而大部分 $PO_4$-P都被浮游植物吸收,其后通过化学自净等过程去除。

## 2.4 $C_{E,N}$和 $C_{SE,N}$年际变化

如图 7所示,根据 $C_{E,N}$定义,在计算 $C_{SP,N,S}$基础上,可推算出胶州湾 DIN和 $PO_4$-P在一级、二级、三级和四级国家海水水质标准条件下的 $C_{E,N}$, $C_{E,N,I}$, $C_{E,N,II}$, $C_{E,N,III}$和 $C_{E,N,IV}$。结果表明,当前每年通过陆源排放和降雨向胶州湾输入的 DIN量介于 $C_{E,DIN,II}$和 $C_{E,DIN,III}$之间,而 $PO_4$-P输入量略低于 $C_{E,PO4,I}$,这与根据 DIN和 $PO_4$-P年平均浓度判断胶州湾营养盐污染状况所得到的结论基本相符。

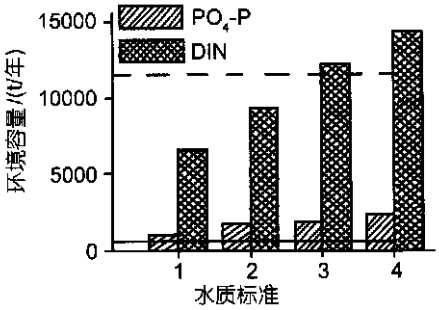


图 6 胶州湾 DIN和 $PO_4$-P在各级海水水质标准下的环境容量 $C_{E,N}$

其中"--"表示当前 DIN的年排放量,"-"表示当前 $PO_4$-P的年排放量

Fig.6 $C_{E,DIN}$ and $C_{E,PO4}$ at various sea water quality standards in the Jiaozhou Bay

in which "--" represents the current DIN annual discharge, and "-" represents the current $PO_4$-P annual discharge

自 20世纪 90年代中期,有关管理和研究部门才开始监测通过陆源排放和降雨向胶州湾输入的营养盐数量。这样,根据这些营养盐排海监测资料,以及自 20世纪 80年代中期以来胶州湾海水中营养盐浓度监测资料可以合理推算出自 70年代末以来每年通过陆源排放和降雨向胶州湾输入的营养盐数量。在此基础上,根据 $C_{E,N}$计算结果(图 6)可以推算出 1978 ~ 2001年期间相对 $C_{E,N,I}$和 $C_{E,N,II}$的 $C_{SE,N}$(图 7)。结果表明,在 70年代末至 80年代中期, $C_{SE,DIN}$和 $C_{SE,PO4}$都变化较小, DIN和 $PO_4$-P相对 $C_{E,N,I}$还剩余约 60%的容纳能力。但是,到 80年代中后期至 90年代中后期, $C_{SE,N}$迅速减小,到 1997年 $PO_4$-P相对 $C_{E,PO4,I}$仅剩余约 40%的容纳能力,而 DIN已超出 $C_{E,DIN,I}$约 70%。实际上, 70年代末至 90年代中后期 $C_{SE,N}$的变化趋势主要是由这期间青岛市社会、经济发展,以及胶州湾海洋生态环境保护状况所产生的必然结果。然而,自 90年代末国家加大了海洋生态环境保护的力度,胶州湾 $C_{SE,DIN}$又有所增加,而 $C_{SE,PO4}$减小速度趋缓。

# 3 结论

总之,本文根据营养盐在多介质环境中分布动力学模型建立了胶州湾营养盐 (DIN和 $PO_4$-P) 的 $C_{SP,N}$、$C_{E,N}$和 $C_{SE,N}$计算方法。结果表明,胶州湾 $C_{SP,N}$夏季最大,冬季最小,春秋居中。这主要是由于物理、化学和生物自净过程所致,贡献顺序是 $C_{SP,P}$ > $C_{SP,C}$ >

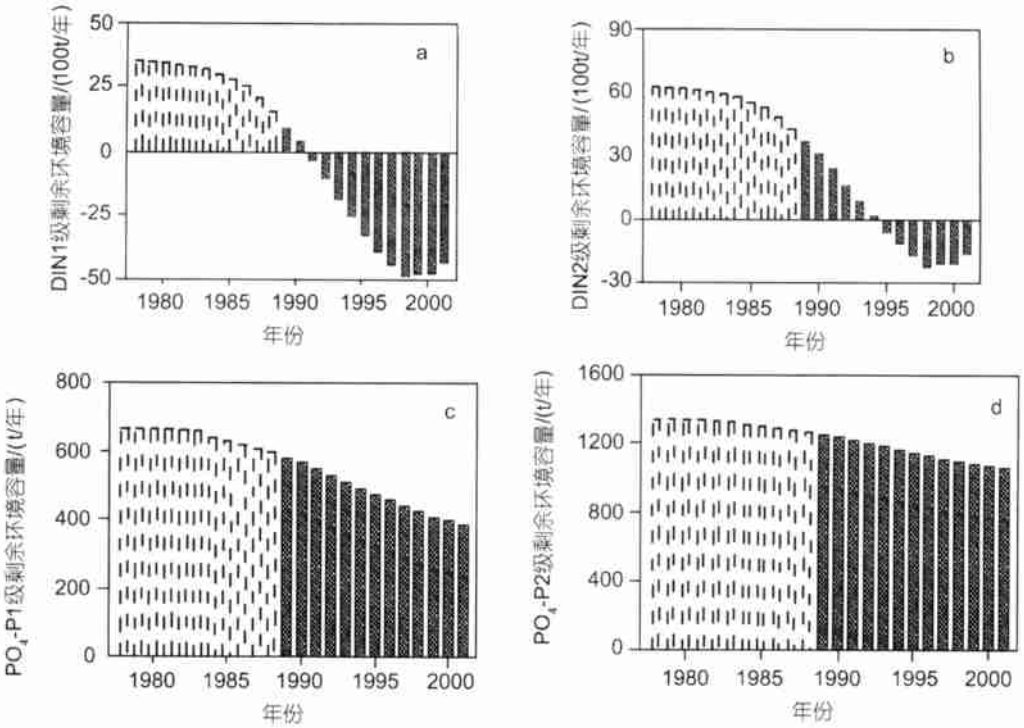


图 7　1978～2001 年胶州湾海水中 DIN 和 $PO_4$-P 分别在一级，二级海水水质标准下的剩余环境容量 $C_{SE}$
其中▩为有观测数据的年度，其他为推算年度

Fig. 7　Surplus environmental capacities ($C_{SE}$) of DIN and $PO_4$-P in the Jiaozhou Bay from 1978 to 2001 relative to the first and second class seawater quality standards

$C_{SP,B}$。进一步讲，$C_{SP,P}$和 $C_{SP,C}$对 $C_{E,N}$产生直接作用，而 $C_{SP,B}$则主要通过浮游植物对营养盐吸收过程对 $C_{E,N}$产生间接作用。在计算不同海水水质标准条件下 $C_{E,N}$的基础上，推算了 20 世纪 70 年代末以来胶州湾 $C_{SE,N}$年际变化趋势。结果表明，在 70 年代末至 80 年代中期，$C_{SE,DIN}$和 $C_{SE,PO4}$都变化较小，而且相对 $C_{E,N,I}$还剩余约 60 %的容纳能力。但自 80 年代中后期至 90 年代中后期，$C_{SE,N}$则迅速减小，其中 DIN 已超出 $C_{E,DIN,I}$约 70 %，然而自 90 年代末 $C_{SE,DIN}$又有所增加，而 $C_{SE,PO4}$减小速度趋缓。实际上，70 年代末以来胶州湾 $C_{SE,DIN}$和 $C_{SE,PO4}$的变化趋势主要是由这期间青岛市社会、经济发展，以及胶州湾海洋生态环境保护状况所决定。因此，$C_{E,N}$计算不仅可以深入了解海洋各种自净过程对特定海域容纳营养盐能力作用，而且更重要的是为排海营养盐总量控制方案制定提供直接、科学和实用的理论基础，这对于保护和改善海洋生态环境，防止赤潮等海洋生态灾害的发生等具有重要的科学意义和实用价值。

**参考文献**


1　沈志良. 胶州湾营养盐的现状和变化. 海洋科学, 1997, 1: 60-64

2　焦念志. 海湾生态过程与持续发展. 北京: 科学出版社, 2001. 13-14

3　周名江, 朱明远, 张经. 中国赤潮的发生趋势和研究进展. 生命科学, 2001, 13(2): 54-59

4　Lutz-Arend et al. Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. Marine Pollution Bulletin, 2000, 41(1-6): 255-263

5　杨积武. 近岸海域实施污染物排放总量控制的理论与实践. 海洋信息, 2001, 2: 24-26

6　杨骥, 姜树春. 松花江氮转化规律与氮污染常量研究, 地理科学, 1989, 9(3): 232-241

7　Horyia K et al. Evaluating method of the marine environmental capacity for coastal fisheries and its application to Osaka Bay. Marine Pollution Bulletin, 1991, 23: 253-257

8 Terttu Melvasalo. Regional marine environmental management and the GPA-LBA: perspectives and the need for scientific purpose. Ocean and Coastal Management, 2000, 43(8-9): 713-724

9 Chua Thia-eng. Marine pollution prevention and management in the East Asia Seas: A paradigm shift in concept, approach and methodology. Marine Pollution Bulletin. 1999, 39(1-12): 80-88

10 马绍赛.乳山湾东流区丰水期(8月)有机物及营养盐的环境容量. 海洋水产研究,1998,19(2):33-36

11 饶开燕.伶仃洋 N,P静态环境容量研究. 海洋科学,1991,3:49-52

12 郑庆华.珠江口咸淡水交汇区营养盐的化学自净研究. 热带海洋,1995,14(2):68-75

13 叶常明.多介质环境概论. 环境科学进展,1995,3(2):1-10

14 叶常明,雷志芳.单甲脒等有机污染物多介质环境的稳态平衡模型构建. 环境科学学报,1997,12(2):206-212

15 Schnoor. Environmental Modeling. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996. 185-229

16 王辉.海洋生态系统模型研究的几个基本问题. 海洋与湖沼,1998,29(4):341-346

17 俞光耀.胶州湾北部水层生态动力学模型与模拟——胶州湾北部水层生态动力学模型. 青岛海洋大学学报, 1999,29(3):421-428

18 孙军.浮游植物生物量研究——Ⅱ胶州湾网采浮游植物细胞体积转换生物量. 海洋学报,2000,22(1):102-109

# THE CALCULATION OF ENVIRONMENTAL CAPACITIES OF NUTRIENTS IN THE JIAOZHOU BAY

GE Ming WANG Xiu-Lin YAN Ju SHI Xiao-Yong ZHU Chen-Jian JIANG Feng-Hua
(*Ocean University of China, Qingdao*, 266003)

**Received:** Aug. 6, 2002
**Key Words:** Nutrients, Environmental Capacity, Self-purification Process, Jiaozhou Bay, Discharge Control

## Abstract

A dynamic model of nutrient distribution in multimedia environments is used to calculate the Environmental Capacity, Surplus Environmental Capacity and the Self-purification Capacity for dissolved inorganic nitrogen and phosphate in the Jiaozhou Bay. The results show maximal Self-purification Capacity values in summer, minimal in winter and similar intermediate values in spring and autumn. Although Surplus Environmental Capacity remains constant during the late 1970s-the mid 1980s (with 60% discharges of nutrients pollutants, relative to the 1st grade Environmental Capacity), it decreased sharply from the mid 1980s to the late 1990s. The Surplus Environmental Capacity of DIN, relative to the 1st grade Environmental Capacity, exceeded about 70% in 1997. Since 1997, the impact of nutrients pollutions has begun to mitigate because of the enhancing protection of marine ecology by local government. The calculated Environmental Capacity and Surplus Environmental Capacity have implications for coastal self-purification of nutrients, nutrients discharge control, marine ecology, and red tide and other marine disasters preventions in China.

(本文编辑:张培新)