

# 虾池水体的富营养化及防治对策\*

林荣根 吴景阳 马丽 宋秀贤

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

**关键词** 虾池 富营养化 对策

## 前言

80年代以来, 我国的对虾养殖业得到了空前的发展, 其年产量1988年超过 $20 \times 10^4 \text{t}^{[1]}$ , 一度成为世界第一大对虾养殖国。但自90年代以来虾池的水质和底质环境严重恶化导致水体富营养化、赤潮频繁发生。这不仅对养殖业自身造成危害, 而且还污染了周围的浅海水体, 从而反过来又影响养殖业, 形成恶性循环。其结果给细菌、病毒造就了良好的生长环境, 虾病越来越严重, 产量骤减, 1994年的产量只有 $5 \times 10^4 \text{t}$  余。对此, 中央及地方政府、全国许多科研单位及对虾养殖单位投入了大量的人力、物力和财力进行研究和攻关, 对引起虾病的原因及对策进行研究<sup>[2]</sup>。结果有的认为是病毒引起的, 有的认为是细菌引起的, 还有的则认为二者兼有之。实践证明只有加强政府有关部门的宏观调控、切实从治本出发, 提高虾池的水质及底质环境质量才是走出这一困境的关键所在。本文拟从虾池水体富营养化的角度出发来研究虾池水体营养盐含量与浮游植物生长及赤潮形成的关系。并在此基础上提出防治对策。

## 1 水质调查范围及测定方法

水样取自山东省青岛市上马镇养虾场的北场和南场。由于1994年南场因发生严重的虾病害很早就收虾了, 监测的数据较少, 在这里仅讨论北场的情况。

在北场采样的虾池有: 生产池1、2、3、4、5号, 试验池1、2、3、4、5号及蓄水池。采样时间为: 5月24日、6月10日、6月21日、6月29日、7月7日、7月15日、7月25日、8月10日及8月24日共9次。

测定要素有: 水温 ( $T$ )、盐度 ( $S$ )、pH、溶解氧 ( $\text{DO}$ )、化学耗氧量 ( $\text{COD}$ )、硝酸盐 ( $\text{NO}_3$ )、亚硝酸盐 ( $\text{NO}_2$ )、铵盐 ( $\text{NH}_4$ )、磷酸盐 ( $\text{PO}_4$ )、浮游植物总量 (Total phyto) 等。测定方法均按《海洋监测规范》<sup>[3]</sup>。

本文于1996-05-27收到, 修改稿于1996-10-03收到。

\* 国家“八五”科技攻关课题 (编号: 85-021-03-03)。

## 2 结果与讨论

由于虾池之间情况各不相同,要想得出有规律的东西,单靠单个虾池之间的比较是不行的,必须对有关数据进行统计处理.因为监测的虾池不多,我们把试验池与生产池合起来考虑.考虑到原始数据很多,只把经统计处理后的数据列在表1中,其相应的图绘于图1中.

表1 1994年上马镇养虾池北场水质分析数据统计

时 间	1994-05-24	1994-06-10	1994-06-21	1994-06-29	1994-07-07	1994-07-15	1994-07-25	1994-08-10	1994-08-24	
T(°C)	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	19.5±2.3	27.7±0.8	24.0±0.3	25.9±0.3	30.8±1.0	26.6±0.3	27.5±2.3	26.7±0.8	
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	4	3	
	蓄水池值	19.0	28.4	23.8	26.0	30.9	26.2	28.0	26.5	
S	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	37.0±1.9	38.2±1.4	38.7±0.9	35.4±1.7	35.5±2.0	35.0±1.2	33.7±4.9	33.5±4.3	36.0±10.4
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	3	4	3
	蓄水池值	35.0	37.0	37.0	32.0	35.0	33.0	32.0	32.0	34.0
pH	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	8.52±0.27	8.31±1.32	8.13±0.22	8.36±0.39	8.30±0.30	8.03±0.13	8.67±0.23	8.29±3.70	
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	4	3	
	蓄水池值	7.82	8.47	7.78	8.26	8.30	7.59	8.20	7.65	
DO (mg/dm <sup>3</sup> )	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	7.76±3.0	10.5±1.8	8.10±0.96	5.64±0.56	9.95±2.18	4.38±1.24	9.01±2.63	5.73±3.29	
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	4	3	
	蓄水池值	7.85	7.47	6.21	5.81	5.81	6.72	8.51	6.68	
COD (mg/dm <sup>3</sup> )	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	18.1±2.3	15.3±1.7	11.4±1.5	13.1±2.6	16.5±2.0	14.1±4.7	13.7±14.1	17.1±6.1	15.9±8.9
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	3	4	3
	蓄水池值	10.4	10.3	8.68	11.7	12.9	9.51	10.3	13.5	11.2
NO <sub>3</sub> (μg/dm <sup>3</sup> )	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	199±86	178±69	106±47	137±49	50±76	340±227	307±293	309±50	116±157
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	3	4	3
	蓄水池值	235	330	120	324	39	258	243	272	104
NO <sub>2</sub> (μg/dm <sup>3</sup> )	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	188±118	87±80	7±8	42±56	35±88	157±104	24±76	10±9	10±16
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	3	4	3
	蓄水池值	242	216	111	191	10	186	107	28	37
NH <sub>4</sub> (μg/dm <sup>3</sup> )	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	132±50	69±59	40±33	59±68	72±111	398±213	106±290	64±19	120±290
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	3	4	3
	蓄水池值	233	105	147	148	19	550	303	195	462
PO <sub>4</sub> (μg/dm <sup>3</sup> )	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	14±11	13±4	12±4	13±3	18±9	17±13	8±3	14±11	25±44
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	3	4	3
	蓄水池值	36	13	18	26	13	76	33	22	78

续表

时 间	1994-05-24	1994-06-10	1994-06-21	1994-06-29	1994-07-07	1994-07-15	1994-07-25	1994-08-10	1994-08-24	
O <sub>2</sub> ast. (%)	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	106±43	165±29	120±15	85±9	163±36	67±19	138±39	88±56	
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	4	3	
	蓄水池值	104	118	91	86	95	100	130	101	
N/P	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	89.9±70.4	58.5±19.5	33.1±24.6	43.6±30.2	17.9±16.8	135±110	122±114	65.2±47.4	25.0±51.4
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	7	3	4	3
	蓄水池值	43.7	111	46.5	56.6	11.6	29.0	43.8	49.8	17.1
Total phyto (×10 <sup>6</sup> 个/dm <sup>3</sup> )	$\bar{X} \pm ts/\sqrt{n}$	0.05±0.08	0.02±0.01	3.41±4.33	0.78±0.78	0.79±0.73	24.8±97.1	1.26±3.02	0.72±2.94	1.08±12.8
	虾池数(n)	4	6	9	9	6	6	3	4	2
	蓄水池值	0.02	0.003	0.47	0.001		10.5	0.53	0.50	0.12

注:  $\bar{X}$  为各要素在各虾池的平均值,  $t$  为置信度为99%时的单侧检验  $t$  值,  $s$  为标准偏差.

## 2.1 水温

从各虾池的平均值来看变化较大, 5月24日最低 ( $19.5 \pm 2.3^\circ\text{C}$ ), 7月7日最高 ( $30.8 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ). 由于是受气温影响, 各虾池之间的差别极小, 这可以从表1中的  $ts/\sqrt{n}$  值看出, 这一项都很小. 在虾池平均值与蓄水池之间也几乎没有差别.

## 2.2 盐度

盐度变化范围不大. 池与池之间除8月24日外差别也很小. 蓄水池的盐度一般小于虾池2左右, 这是由于养殖人员害怕对虾传染上虾病, 很少换水的结果.

## 2.3 pH

pH 受浮游植物的光合作用及虾池中有机质的分解所控制. 考虑到 pH 是一对数值, 因此它的变化不管是从采样日之间还是从虾池之间看都是较大的. 蓄水池的 pH 几乎总是低于虾池, 这与蓄水池中浮游植物活动较少有关 (见浮游植物总量的表和图), 因为浮游植物的生长可使水体的 pH 值升高<sup>[4]</sup>.

## 2.4 溶解氧

溶解氧直接受浮游植物的光合作用及虾池中有机质的分解所控制, 因此它跟每次的采样时间及采样时的光照情况都有关系, 所以它变化很大是预料之中的. 同样由于蓄水池中浮游植物较少的缘故, 蓄水池中的溶解氧含量几乎总是低于虾池中的.

## 2.5 化学耗氧量

化学耗氧量是用来衡量水体中有机物质及还原性无机化合物多少的. 它的含量除了与水体中的藻类多少有关外, 还跟水体的悬浮物含量有关. 因此当天气条件比较恶劣时 (如大风、大雨等), 由于池底沉积物被搅到水体中, 使得水体中含有大量的悬浮物, 这时水体的化学耗

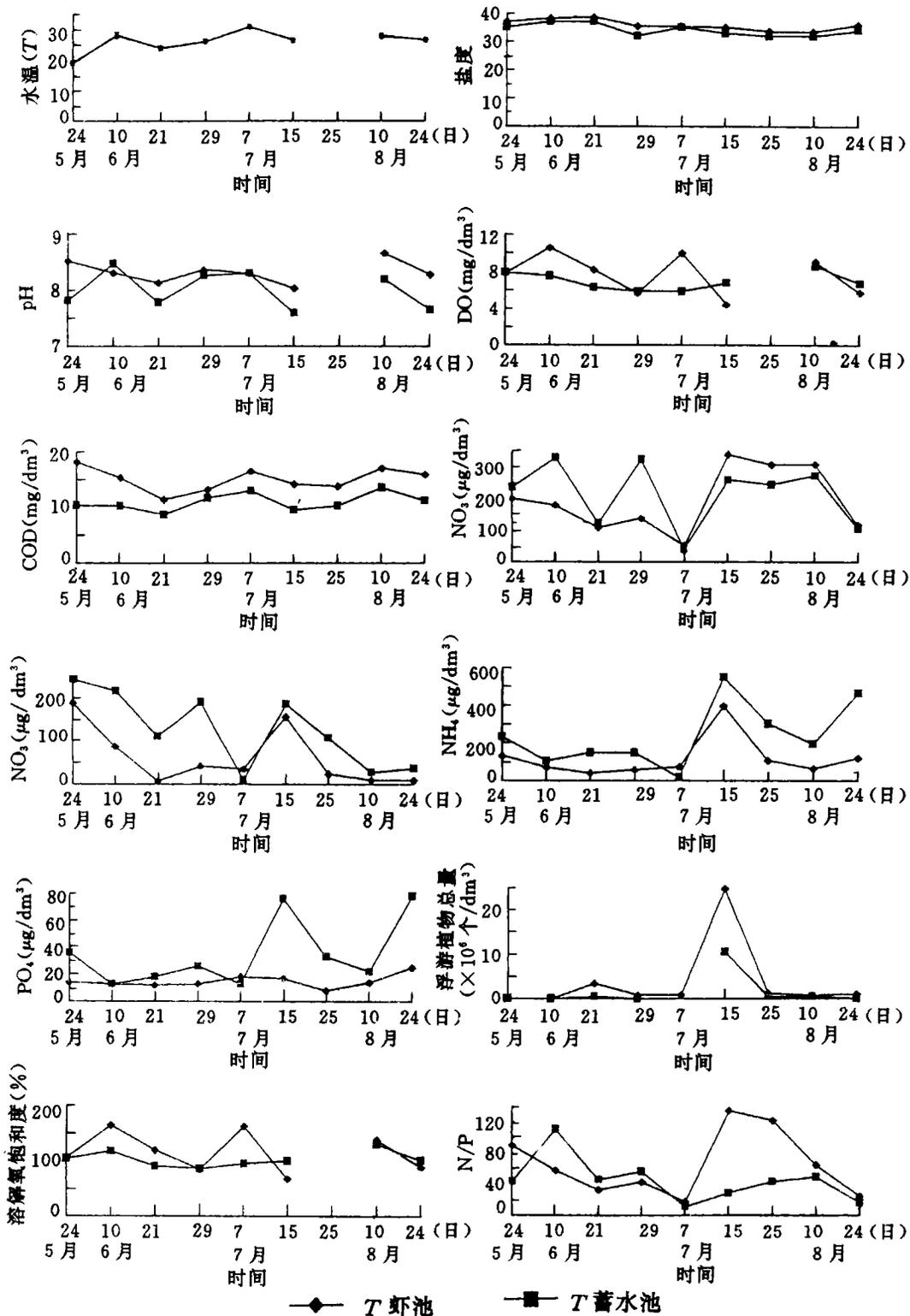


图1 1994年上马镇北场养虾池及蓄水池中各要素(平均值)随时间的变化

氧量就很高. 由于蓄水池中浮游植物和悬浮物都较虾池中为少, 蓄水池中的 COD 通常也较虾池小 $5\text{mg}/\text{dm}^3$ 左右.

## 2.6 营养盐

与蓄水池中浮游植物繁殖不旺盛相符, 虾池中的营养盐含量几乎在所有的采样时间都较蓄水池中为低, 这是因为浮游植物繁殖消耗营养盐所致.

### 2.6.1 硝酸盐

硝酸盐的含量除7月7日外都很高, 而且虾池之间变化也很大. 一般来说, 虾池和蓄水池具有相同的变化趋势. 7月7日的含量特别低是由于换水的缘故.

### 2.6.2 亚硝酸盐

亚硝酸盐在水体中从热力学上讲是不稳定的. 但是从我们的分析数据看, 在某些虾池中它的含量还挺高的, 这可能是因为由于虾池过量投饵、池底又长期不清理从而使水体处于相对还原状态, 亚硝酸盐得以以高含量存在.

### 2.6.3 铵盐

我们测定的铵盐是  $\text{NH}_3$  和  $\text{NH}_4^+$  的总和, 其含量也相当高, 尤其是7月15日和8月24日这两天. 各虾池之间的变化也很大. 同硝酸盐、亚硝酸盐一样, 7月7日那天含量最低.

### 2.6.4 磷酸盐

与其他营养盐不同, 在蓄水池及虾池中磷酸盐的含量始终是较低的. 它的含量在各虾池中的变化也不大. 很难解释为什么其他营养盐含量高而磷酸盐却低, 也许是饵料中相对于氮来说磷含量较低, 也许是水体中钙铝等离子含量较高由于沉淀作用而使磷酸盐的含量降低. 似乎可以看出磷酸盐在虾池(或蓄水池)中有一最低浓度 ( $-10\mu\text{g}/\text{dm}^3$ ), 这可能与悬浮物对磷酸盐的缓冲作用有关, 这一现象在河口地区早已被发现<sup>[5]</sup>.

由这些图还可看出,  $\text{NO}_3$  与  $\text{NO}_2$  的变化趋势基本一致, 而  $\text{NH}_4$  却和  $\text{PO}_4$  的一致.

## 2.7 浮游植物总量

除上述化学因素外, 我们还测定了浮游植物总量及种类. 浮游植物总量不仅在时间上(不同采样时间)变化很大而且在空间上(不同虾池之间)变化也很大. 不同于其他化学因素, 它的变化有时为好几个数量级. 这正是生物要素与化学要素的不同之处: 只要条件适合, 浮游植物便会大量繁殖.

在大多数情况下, 虾池及蓄水池中的浮游植物总量都比较低 ( $<1 \times 10^6$  个/ $\text{dm}^3$ ), 只有6月21日在虾池中及7月15日在虾池和蓄水池中高于此值, 尤其是7月15日这一天, 个别虾池的浮游植物含量特别高, 已达到形成赤潮的标准 ( $1.37 \times 10^6$  个/ $\text{dm}^3$ ), 其优势种为斯克利普斯藻 (*Scrippsiella trochoidea*) 和原甲藻 (*Prorocentrum* sp.).

有一点应值得注意: 蓄水池中所有营养盐的含量几乎总是大于虾池中的, 但其浮游植物总量却总是小于虾池中的, 这说明影响浮游植物生长的因素除了营养盐之外, 还有别的(如微量元素, 维生素等), 还说明由于饵料和虾的排泄物的影响, 虾池中的环境比起蓄水池来要更有利于浮游植物的生长.

在被调查的虾池及蓄水池中, 氮(包括  $\text{NO}_3$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{NH}_4$ ) 的含量对浮游植物的生长来

说是大量的（往往超过文献上所规定的引起赤潮的浓度下限）。可以认为在虾池或蓄水池中，磷是浮游植物生长的限制因素。7月15日在北场4号试验池发生了赤潮（每升水中含有 $1.37 \times 10^8$ 个藻细胞，这一天蓄水池中虽然没有发生赤潮但它的浮游植物总量也比平时高出许多），而恰恰在这一天，虾池和蓄水池中的磷特别高（其原因不详）。因此，可以看出在虾池（或蓄水池）中，磷是浮游植物生长繁殖的关键因子。要想控制富营养化和赤潮，磷是关键，并且容易控制（如撒一些粘土，一方面粘土可以吸附水体中大量的磷，从而降低水体的富营养化程度；另一方面粘土还能利用其吸附作用直接杀死赤潮生物细胞<sup>[6]</sup>；此外，粘土还能阻止部分光线进入水体，进入沉积物表面的粘土还有阻止沉积物中的磷的再释放的作用<sup>[7,8]</sup>）。相反，氮是大量的，且不易去除。

## 2.8 溶解氧饱和度

虾池及蓄水池中的氧饱和度的计算，结果表明，在多数情况下水体中的氧气是过饱和的，尤其是在虾池中（最高可达184%）。这除了与水体中的浮游植物活动频繁有关外，还与我们的采样时间一般为中午时分有关。在这段时间内光照充足，浮游植物大量繁殖，DO的含量则增加。我们曾测量了某虾池中DO随时间的变化（图2）。由图可看出，DO含量一般在下午2时达到顶峰，而在早晨日出前为最低。

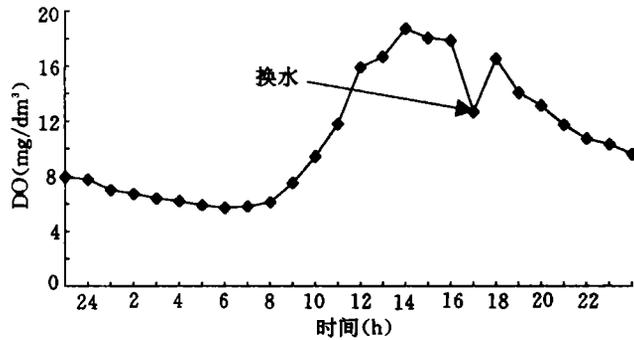


图2 某虾池中溶解氧含量的昼夜变化

另一些已死亡并开始腐烂，消耗了水体中大量的氧。幸亏有大量的浮游植物正在繁殖，放出大量的氧气，否则水体中的氧浓度真是个严重的问题。如北场2号生产池7月15日的DO只有 $2.79 \text{ mg/dm}^3$ ，其饱和度只有43%，就虾池的平均值来说DO也只有 $4.38 \text{ mg/dm}^3$ ，相应的饱和度为67%。

## 2.9 N/P

对于浮游植物本身来说，其平均的N/P（原子比）大约为16:1<sup>[9]</sup>。因此人们都认为浮游植物也按照此比例来吸收水体中的氮、磷。原则上水体中的N/P也应为16:1上下，但我们发现在我们监测的蓄水池和虾池中N/P很少有接近此值的。N/P在时空上都有很大的变化（从4到不可思议的292）。但N/P在大多数情况下都大于16，这再次证明在蓄水池及虾池中，在绝大多数情况下，磷是浮游植物生长的限制因素<sup>[9]</sup>。有趣的是由图还可看出一开始虾池中的N/P比蓄水池中的高，但此后虾池中的N/P又比蓄水池中的低，在后期虾池中的N/P又重新高于蓄水池中的。

如北场2号生产池7月15日的情况，在采样的中午时刻DO只有 $2.79 \text{ mg/dm}^3$ ，照此类推，这样在凌晨虾池中很有可能缺氧，从而导致虾的浮头或死亡。

DO饱和度的变化规律与DO一致。值得注意的是7月15日发生赤潮那天，DO和DO饱和度并不高，这说明在一些浮游植物大量繁殖的同时，

### 3 虾池水体的富营养化指标

既然养殖水体的富营养化及由此引起的赤潮对对虾的养殖是极其不利的(如大量的浮游植物在腐烂过程中会引起虾池缺氧及pH值的显著下降、某些赤潮生物的毒素直接对虾造成危害等),那么提出一种适合于虾池水体中、简单实用的富营养化评价模式来指导生产是当务之急。考虑到:(1)虾池的自然条件比海洋好(水体稳定、养虾期间温度适宜、有机物和微量元素丰富等)有利于浮游植物的生长;(2)如果用传统的海水的富营养化标准来衡量的话,虾池基本上总是处于富营养化状态;(3)从上面的讨论中可以看出磷在虾池水体的富营养化中起着关键的作用;(4)磷测定简单、量小、控制容易;(5)参照海水中磷的富营养化标准为 $0.045\text{mg}/\text{dm}^3$  [10]。

我们建议用单一的磷来衡量虾池水体的富营养化水平,其虾池标准定为 $0.03\text{mg}/\text{dm}^3$  (1994年实测超标率为3%),蓄水池稍高为 $0.04\text{mg}/\text{dm}^3$  (1994年实测超标率为30%)。

### 4 小结

(1)从富营养化角度看,不管是蓄水池还是虾池,它们水体的质量是不高的,尤其是总氮及有机物的含量特别高,如果磷的含量也足够高及其他条件合适的话,很容易发生赤潮,从而给养虾业造成严重的损失;

(2)蓄水池的水质不够好,没有真正起到沉淀悬浮物、改善水质的作用;

(3)有证据表明虾池(及蓄水池)的底质环境质量很差,影响上覆水的质量。多次大量的死虾事故也都发生在天气条件恶劣、底质沉积物被搅起的情况下;

(4)可以用简单易行的“P标准”来衡量虾池的富营养化程度,其值暂定为虾池 $0.03\text{mg}/\text{dm}^3$ ,蓄水池 $0.04\text{mg}/\text{dm}^3$ 。一旦发现池中水体的磷含量大于或接近此值应及时采取措施(如向水体中撒一些粘土等);

(5)养虾是一门复杂的艺术,光靠提高水质、防止水体富营养化和赤潮是远远不够的,还需在其他方面一起下功夫。

### 参考文献

- 1 张伟权. 中国海洋科学研究及开发(曾呈奎等主编). 1993, 303~310
- 2 张明方. 浙江走出对虾养殖困境的探讨. 海洋科学, 1995, 5, 12~14
- 3 中华人民共和国行业标准,《海洋监测规范》. 北京:海洋出版社, 1992, 766
- 4 Blackburn T H and Sorensen J. Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments, SCOPE 33, John Wiley & Sons, Chichester, 1988, 451
- 5 崔红, 孙乘一. 河口区水体中磷酸盐的缓冲机制. 海洋湖沼通报, 1991, (1): 77~84
- 6 Yu Zhiming, Zou Jingzhong and Ma Xinian. Application of Clays to removal of red tide organisms; coagulation of different species of red tide organisms with montmorillonite and effect of clay pretreatment. Chin. J. Oceanol. Limnol., 1994, 12 (4): 316~324
- 7 俞志明, 马锡年, 谢阳. 粘土矿物对海水中主要营养盐的吸附研究. 海洋与湖沼, 1995, 26 (2): 208~213
- 8 陈慈美, 陈于望, 郑泽广. 河口水域悬浮沉积物与赤潮. 海洋通报, 1987, 6 (4): 47~55
- 9 胡明辉, 杨逸萍. 长港口浮游植物的磷酸盐限制. 海洋学报, 1989, 11 (4): 439~443
- 10 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨. 海洋环境科学, 1983, 2 (2): 41~54