

威海湾水域环境因子周年变化特征*

张少华¹ 原永党¹ 刘振林¹ 施坤涛^{1**} 宋宗诚¹ 王同华²

(1. 威海市环翠区水产研究所 威海 264200; 2. 中国海监威海市环翠区大队 威海 264200)

摘要 试验于 2005~2006 年对威海湾水温、透明度、pH 值、DO、COD、油类、无机氮、活性磷等水域环境因子进行了周年监测,结果表明:威海湾年平均水温 13.1℃,最高气温出现在 8 月(25.1℃),最低气温出现在 1 月(1.1℃),透明度在 0.24~5.28 m 之间,pH 值为 7.56~8.45,达到国家二类水质标准;DO 为 5.22~8.09 mg·L⁻¹,年平均值为 7.22 mg·L⁻¹,COD 为 0.201~1.531 mg·L⁻¹,无机氮为 0.111~0.686 mg·L⁻¹;磷酸盐范围为 0.016~0.036 mg·L⁻¹,威海湾内海水养殖区夏秋两季的富营养化指数(EI)>1,表明威海湾中的主要污染源是 N、P 营养盐。同时根据监测结果对威海湾海水养殖区提出了相应的优化措施。

关键词 威海湾 水域环境 理化因子 海水养殖

中图分类号:X145; X830.3 文献标识码:A 文章编号:1671-3990(2008)05-1248-05

Environmental monitoring and evaluation of Weihai Bay seawater

ZHANG Shao-Hua¹, YUAN Yong-Dang¹, LIU Zhen-Lin¹, SHI Kun-Tao¹,
SONG Zong-Cheng¹, WANG Tong-Hua²

(1. Weihai Huancui District Fisheries Research Institute, Weihai 264200, China;
2. China Marine Surveillance, Weihai Huancui District, Weihai 264200, China)

Abstract From 2005 to 2006, we spotted monitored stations in Weihai Bay on monthly or quarterly basis for temperature, transparency, pH, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, oil content, dissolved inorganic nitrogen, phosphate, etc. The results indicate that average seawater temperature at Weihai Bay is 13.1℃, with the highest temperature (25.1℃) occurring in August and the lowest (1.1℃) occurring in January. Annual transparency ranges from 0.24 m to 5.28 m and pH ranges from 7.56 to 8.45, consistent with the national grade II seawater standard. Dissolved oxygen is within 5.22~8.09 mg·L⁻¹, with an annual average of 7.22 mg·L⁻¹. Chemical oxygen demand is 0.201~1.531 mg·L⁻¹ while dissolved inorganic nitrogen is 0.111~0.686 mg·L⁻¹. Phosphate content fluctuates between 0.016 mg·L⁻¹ and 0.036 mg·L⁻¹. In the summer and autumn, EI (Eutrophication Index) is larger than 1, indicating that the main contaminants are dissolved inorganic nitrogen and phosphate. Based on the findings proposals are advanced on marine aquaculture in Weihai Bay.

Key words Weihai Bay, Water environment, Physical and chemical factor, Marine aquaculture

(Received July 18, 2007; accepted Oct. 30, 2007)

近十几年来,随着海洋渔业资源的匮乏,水产养殖业发展迅猛,其产量已占我国水产品总量的 16% 以上^[1],但由于对海洋生态系统缺乏了解,仅凭利益驱动盲目地扩大规模,致使目前近海污染加重,面临许多严重的经济和生态问题。而作为近海养殖的主要载体——海湾自然深受其害,只有根据海湾的水环境特征,进行合理开发利用,才能走可持续发展的道路。目前已对莱州湾、桑沟湾、胶州湾、泉州湾等诸多海湾^[2-7]开展了水质调查和水环

境特征研究,而对威海湾水域环境的研究较少。

威海湾位于威海市市区,属于黄海海域,毗邻渤海,N 37°25'48"~37°31'33",E 122°07'13"~122°14'35",流入海湾的主要河流有城南河、望岛河、长峰河等,湾内有刘公岛、牙石岛、日岛等几个小岛^[8],沿海地区人口密集,经济繁荣,作为海水养殖的重要地区,由于工农业和海水养殖业的发展,大量工厂和生活污水的不合理排放,使近海污染范围不断扩大,海域污染事件频繁发生,分别在 2001 年

* 山东省科技攻关计划(2005310)资助

** 通讯作者,E-mail: shikuntao@163.com

张少华(1964~),男,高级工程师,研究方向为水产养殖。E-mail:5322942@sina.com

收稿日期:2007-07-18 接受日期:2007-10-30

9月和2004年2月发生了2起严重的网箱养殖污染事故,2004年发生了大面积蛤田遭受污染的事件,给当地养殖业带来了沉重打击。通过对2005年4月~2006年8月威海湾水域环境的监测,阐述了威海湾水域环境的变化特征,对评价威海湾的环境质量,探求治理方法,优化海水养殖结构,进行生态修复,改善海域环境等具有重要意义。

1 调查站点与研究方法

威海湾海湾面积 81.9 km²,水面面积 56.2 km²,滩涂面积 15.7 km²,大陆海岸线长 30.66 km。本次调查在威海湾内设立了9个海洋环境调查站点,具体地理位置 A1 为 N37°30'25"、E122°08'43",B1 为 N37°29'02"、E122°11'03",C1 为 N37°28'41"、E 122°10'10",D1 为 N37°28'15"、E122°09'03",B2 为 N 37°27'51"、E122°11'41",C2 为 N37°27'57"、E122°10'34",D2 为 N37°27'15"、E122°09'49",C3 为 N37°26'44"、E122°10'53",D3 为 N37°25'59"、E122°10'23"。其中 A1 是威海湾非养殖海域,C3、D3 是杨家湾(威海湾内)的筏式养殖及网箱养殖区,其余6个站位是威海湾渔业观光区,以筏式养殖为主。

每月中旬出海现场监测海水水温、透明度,并按季度用 GCC4-1 型采水器采水样(采样水层 0.5

m),用于 DO、COD、无机氮、pH 值、PO₄³⁻-P 等的检测。海水温度用颠倒温度计测定,透明度用透明度盘观测,pH 用 PHS-2C 型精密酸度计测定,海水亚硝酸盐含量用盐酸萘乙二胺分光光度法测定,海水硝酸盐含量用锌-镉还原法测定,NH₄⁺-N 用次溴酸盐氧化法测定,PO₄³⁻-P 用磷钼蓝分光光度法测定,COD 用碱性高锰酸钾法测定,油类含量用紫外可见分光光度计测定,DO 采用碘量法测定。

2 结果与分析

2.1 威海湾水温变化特征

威海湾水温分布趋势随月份的变化监测结果表明(表1),威海湾2月份水温最低,平均为1.61℃;3月份开始升温,8月份达到峰值,平均为23.29℃;9月份开始降温,到次年2月份达到谷底。从表中可以看出,年度水温温差最高可达24.2℃。全年水温变化表现为:4~10月增长比较均匀,而年初和年末起伏比较大,最大降温速率在10~11月,月平均降温7.90℃,11~12月降温幅度也很大,为7.10℃,其原因主要是2005年12月份持续3周多的大暴雪;2~4月出现两次较大升温月,平均达4.40℃。而各个站点之间温度差异不显著。

表1 威海湾水温监测结果

Tab. 1 Annual statistic of temperature of seawater in Weihai Bay												℃
站号 Station code	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
A1	2.6	2.0	5.8	9.0	14.4	16.9	19.9	24.2	21.4	17.8	10.3	4.2
B1	2.5	1.8	4.2	9.2	13.9	14.9	20.2	25.2	20.4	18.5	13.4	3.5
B2	2.0	1.6	5.6	8.2	12.6	16.9	22.2	23.2	21.0	17.8	11.4	2.8
C1	2.5	2.1	4.2	11.2	14.4	15.4	23.2	25.1	22.2	17.9	10.8	4.2
C2	1.2	1.0	5.7	11.0	15.6	18.7	24.2	24.2	23.5	20.2	8.1	5.5
C3	1.1	1.9	5.8	11.2	15.6	19.2	20.2	23.1	22.1	19.1	8.5	3.8
D1	1.2	1.0	7.8	11.8	12.6	17.5	21.1	22.2	23.2	18.4	9.2	3.2
D2	1.9	1.5	4.2	11.8	14.2	16.8	23.1	21.2	22.2	18.9	10.5	2.1
D3	1.7	1.6	4.5	10.3	13.2	17.5	22.2	21.2	23.2	18.2	13.5	2.5
平均 Average	1.86	1.61	5.31	10.41	14.06	17.09	21.81	23.29	22.13	18.53	10.63	3.53

2.2 透明度、pH 的变化特征

威海湾透明度的监测值见表2。威海湾因属内湾,其透明度受环境因素的影响较大,故透明度也变化较大,最深的平均达5.28 m,最浅的平均为0.24 m,但各站点之间的透明度差异不显著。

pH 值是海水中化学形状和生命活动的综合反映。威海湾海域 pH 具体监测值见表3。威海湾各站的 pH 在 7.56~8.45 之间,最高值在 11 月份,平均为 8.28,其次为 3 月份,平均 8.27。这是因为 pH

值主要受雨量和生物活动的影响,5~9 月份为海带养殖和浮游生物大量繁殖季节,pH 值较低,出现在 C3、D3,而非养殖区的 A1 站点的 pH 比较高,而在 11~3 月受降雪天气的影响整个威海湾的 pH 值处于较高水平。除杨家湾部分养殖区属于 II 类海水水质外,其他站点均属于 I 类海水水质。

2.3 DO、COD、油类的含量及特征

DO:威海湾冬季 DO 值最高,其平均值为 8.09 mg·L⁻¹,分布比较均匀,DO 饱和度季平均为

100.1%;夏季 DO 值最低,平均值为 $5.22\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中养殖区最低值达到 $3.83\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,并且呈现出由岸边向养殖区饱和度明显降低的趋势(表 4)。

COD:COD 在威海湾南部湾底及其沿岸海域呈高值区,向湾口递减,秋季湾内分布比较均匀;COD 春季平均为 $0.350\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,夏季最高为 1.531

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,冬季最低为 $0.201\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。COD 的浓度高低与湾内悬浮物的多少呈正相关(表 4)。

油类:油类在威海湾内分布主要与船只的来往有关,由于航道与养殖区域有一定距离,因此油类对养殖区域的水质影响不大,符合海水养殖的水质标准(表 4)。

表 2 威海湾透明度监测结果

Tab. 2 Annual statistic of transparence of seawater in Weihai Bay

站号	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
Station code	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
A1	0.5	0.2	0.3	1.5	2.8	5.1	5.4	6.5	2.2	0.6	1.5	0.4
B1	0.5	0.4	0.2	0.8	1.6	5.2	3.2	5.0	1.2	0.5	0.5	0.3
B2	0.2	0.3	0.5	1.0	1.7	4.1	2.2	6.0	1.4	0.5	0.5	0.3
C1	0.3	0.2	0.3	0.9	1.8	3.2	3.4	6.1	1.5	0.5	1.0	0.2
C2	0.3	0.5	0.2	1.1	1.5	3.5	2.8	4.5	1.6	0.5	1.0	0.5
C3	0.2	0.3	0.2	3.1	1.6	4.5	2.7	5.2	1.3	0.6	1.0	0.1
D1	0.5	0.2	0.2	1.4	1.5	4.6	5.6	5.3	1.5	0.5	1.0	0.1
D2	0.6	0.2	0.2	1.4	1.6	4.3	5.1	4.6	1.4	0.5	1.0	0.2
D3	0.4	0.2	0.3	1.5	1.6	2.2	1.4	4.3	1.2	0.5	1.0	0.1
平均 Average	0.39	0.28	0.27	1.41	1.74	4.08	3.53	5.28	1.48	0.52	0.94	0.24

表 3 威海湾 pH 监测结果

Tab. 3 Annual statistic of pH of seawater in Weihai Bay

站号	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
Station code	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
A1	8.12	8.33	8.26	8.25	8.12	8.12	7.97	8.04	8.11	8.43	8.26	8.12
B1	8.11	8.24	8.26	8.22	8.14	8.04	7.76	7.89	7.96	8.24	8.26	8.25
B2	8.01	8.19	8.27	8.26	8.16	8.03	7.78	8.01	7.89	8.21	8.35	8.45
C1	8.03	8.21	8.29	8.26	8.26	8.05	8.02	7.85	8.11	8.23	8.36	8.26
C2	8.16	8.13	8.25	8.27	8.23	8.11	8.03	8.06	8.11	8.24	8.19	8.35
C3	8.17	8.21	8.32	8.23	8.15	8.17	7.88	8.02	8.02	8.26	8.22	8.36
D1	8.05	8.42	8.26	8.24	8.11	8.21	7.84	8.06	8.01	8.27	8.34	8.25
D2	8.17	8.09	8.23	8.26	8.21	8.01	8.01	8.11	7.98	8.12	8.21	8.22
D3	8.19	8.36	8.26	8.14	8.02	8.01	7.66	7.56	7.88	8.11	8.31	8.01
平均 Average	8.11	8.24	8.27	8.24	8.16	8.08	7.88	7.96	8.01	8.23	8.28	8.25

表 4 威海湾 DO、COD、油类各季度含量

Tab. 4 Quarter statistic of DO, COD and oil of seawater in Weihai Bay

站号	DO				COD				油类 Oil			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
Station code	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Aut.	Win.
A1	8.53	5.67	9.08	8.53	0.288	0.311	0.241	0.210	0.008	0.025	0.043	0.039
B1	7.54	5.49	7.97	8.54	0.208	0.218	0.442	0.332	0.037	0.052	0.041	0.041
B2	7.64	5.44	7.95	8.34	0.284	0.384	0.191	0.244	0.035	0.043	0.020	0.022
C1	7.53	5.81	8.10	7.53	0.348	0.448	0.482	0.333	0.029	0.032	0.045	0.043
C2	7.54	5.42	8.00	8.24	0.452	0.522	0.241	0.201	0.042	0.022	0.052	0.027
C3	7.18	4.95	7.55	8.30	0.243	0.533	0.101	0.301	0.047	0.053	0.041	0.031
D1	8.00	5.50	7.61	8.00	0.342	0.341	0.274	0.314	0.045	0.022	0.044	0.022
D2	7.79	4.83	7.62	7.71	0.542	1.312	0.572	0.511	0.051	0.031	0.025	0.042
D3	6.98	3.83	7.51	7.60	0.442	1.531	1.032	0.874	0.051	0.053	0.023	0.033
平均 Average	7.64	5.22	7.93	8.09	0.350	0.622	0.397	0.369	0.038	0.037	0.037	0.033

2.4 威海湾海水中氮与磷含量及特征

海水中的氮主要包括硝酸态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、氨态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)和亚硝酸态氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$),磷主要是指磷酸盐($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)。N、P是威海湾海洋环境监测的两项主要指标(表5)。调查结果表明,威海湾夏季无机氮的平均含量最高,达 $0.458 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,湾内站点最高为 $0.686 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。磷酸盐含量在冬季最高,可达 $0.036 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,在春季最低,为 $0.016 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,主要是因为春季浮游生物繁殖旺盛,对营养盐的消耗大大增加,故使磷酸盐含量急剧下降到最低^[9],而冬季与之相反。其中在夏秋季养殖区属于II类海水水质外,其他均属于I类海水水质。这是由于在7~11月的扇贝和网箱养殖季节,大规模的筏架和网箱对水流有一定的阻碍作用,养殖生物代谢过程产生的含氮废物不能及时消耗,从而使局部海水中的N含量升高^[10]。

N/P比的制约作用。当营养盐总水平足以满足浮游植物生长时,海洋浮游植物的N/P比基本上遵循Redfield比^[11],即16:1,而且浮游植物喜栖于该环境并通常按比例吸收2种营养盐^[12]。只有当海水中无机氮和磷含量均达到一定水平以上时,N/P比对浮游植物才有实际意义,如果两者含量均很低或者特别高,将不利于自养生物生长^[13]。威海

湾内养殖区在夏秋两季的N/P比都高于16,分别为20.809和17.335,其主要限制因子是磷的相对低水平,使浮游植物对磷的浓度变化十分敏感。一旦由于某种外因如排污、大量径流输入等导致磷的浓度升高,有可能诱发浮游植物大量繁殖而引发赤潮^[9]。

湾内的富营养化指数(EI)。结合无机氮、磷酸盐以及COD的监测结果,应用海水水质富营养化分析方法^[11],可以估算威海湾海水富营养化水平(E)^[12-14]。

$$E = \rho(\text{COD}) \times \rho(\text{IN}) \times \rho(\text{IP}) / 4500 \quad (1)$$

式中,E为富营养化判断值, $\rho(\text{COD})$ 为化学耗氧量的测定值,单位为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\rho(\text{IN})$ 为无机氮的测定值,单位为 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; $\rho(\text{IP})$ 为无机磷的测定值,单位为 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。若 $E \geq 1$,即为富营养化。通过计算按照季度各参数的平均值 $E_{\text{夏季}}(1.39) > 1 > E_{\text{秋季}}(0.44) = E_{\text{冬季}}(0.44) > E_{\text{春季}}(0.41)$,从富营养指数来看夏季威海湾更容易引发赤潮,而从各站点来看只有夏秋两季的个别站点(夏季D2=3.20,D3=7.70;秋季D3=3.79) E 值 > 1 ,所占比例分别为22.2%和11.1%。整体上,威海湾的海水并未处在富营养化水平,从出现富营养化水平的站点看,N、P的贡献大于COD,进一步证明威海湾的主要污染源是N、P营养盐。

表5 威海湾各季度N与P含量

Tab.5 Quarter statistic of N & P of seawater in Weihai Bay

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

站号 Station code	N				P			
	春季 Spr.	夏季 Sum.	秋季 Aut.	冬季 Win.	春季 Spr.	夏季 Sum.	秋季 Aut.	冬季 Win.
A1	0.123	0.380	0.235	0.111	0.008	0.017	0.006	0.045
B1	0.199	0.412	0.212	0.122	0.013	0.023	0.024	0.032
B2	0.207	0.317	0.278	0.188	0.012	0.022	0.015	0.042
C1	0.218	0.385	0.224	0.113	0.014	0.025	0.023	0.033
C2	0.148	0.444	0.333	0.124	0.015	0.012	0.010	0.021
C3	0.233	0.533	0.264	0.132	0.023	0.015	0.015	0.027
D1	0.176	0.486	0.265	0.174	0.015	0.024	0.013	0.025
D2	0.186	0.477	0.354	0.151	0.017	0.023	0.019	0.032
D3	0.386	0.686	0.486	0.142	0.023	0.033	0.034	0.067
平均 Average	0.208	0.458	0.295	0.140	0.016	0.022	0.018	0.036

3 讨论

3.1 威海湾水质的总体特征

威海湾的水质状况具有3种特征:一是季节特征,即在同一养殖区,由于夏季(7、8月份)水温偏高,导致某些理化因子如DO、透明度比较低,而夏季也是生活、工业及养殖用水的高排放期,此季节的重金属以及N、P含量偏高;湾内冬季DO值、磷

酸盐含量最高,春季水温和磷酸盐含量最低,秋季分布比较均匀。二是区位特征,即在同一季节,由于湾底区域其海流流速明显小于两个湾口处,直接影响了水体交换,因此研究中发现湾口处的水质指标明显优于湾底,透明度较高。三是养殖生物密度特征,即在同一季节和同一养殖区,由于放养密度过大而影响了海流的畅通和水体交换,同时养殖生

物自身代谢物相对增加,水体往往呈现较低透明度,直接影响到湾内海洋生物以及养殖生物的正常生长。

3.2 威海湾的养殖海域优化建议

威海湾实有水面积 5 594 hm²,减去商船、渔船、军船避风锚地、舰艇测速场和商港、渔港、军港的航道,实际可提供养殖的水面只有 3 360 hm²。由于连续多年的超负荷养殖造成湾内海流不畅,水体交换能力差,直接影响了营养盐和饵料生物的携入,大大降低了海湾的初级生产力,因此,必须减少养殖面积,合理使用养殖水域。

养殖结构合理布局。应尽量减少湾底的养殖密度,将养殖重心向湾的两边转移,留出湾口位置,同时对网箱养殖进行统一规划,拆除部分湾底以及湾口的网箱设施,增强水体的交换,进一步优化养殖环境。应尽量选择高效益低污染的养殖品种种类,充分发挥个体的生长优势,达到精养高产,增效节能的目的。根据威海湾的具体情况和所养殖的品种,初步设计其养殖布局为水表层应以养殖海带为主,中区和水中层以海带与扇贝间养以及养殖贝类和网箱养鱼为主,湾内和水底层(海底)应以养殖扇贝和海参为主,或者扇贝与海带间养。另外要加强对水生植被的恢复,其中威海湾的大叶藻(*Zostera marina* L.)是高等的水生植物,具有吸附 N、P 的作用,通过对大叶藻的增殖保护,可降低威海湾的富营养化水平。

参考文献

- [1] 董双林,李德尚,潘克厚. 论海水养殖的养殖容量[J]. 青岛海洋大学学报,1998,28(2):253-258
- [2] 李广楼,崔毅,陈碧鹏,等. 秋季莱州湾及附近水域营
- 养现状与评价[J]. 海洋环境科学,2007,26(1):45-48,57
- [3] 万修全,吴德星,鲍献文,等. 2000 年夏季莱州湾主要观测要素的分布特征[J]. 中国海洋大学学报,2004,34(1):007-013
- [4] 孙耀,赵俊,周诗贵,等. 桑沟湾养殖海域的水环境特征[J]. 中国水产科学,1998,5(3):69-75
- [5] 连岩,王立超,李胜宽,等. 桑沟湾海水化学调查[J]. 黄渤海海洋,1998,16(3):60-66
- [6] 过锋,陈聚法,陈碧鹏,等. 胶州湾北部氮、磷营养盐的分布及变化特征[J]. 海洋水产研究,2005,26(6):34-38
- [7] 蔡清海,钱小明,方民杰,等. 福建泉州湾环境质量评价[J]. 福建水产,2005,105(2):33-37
- [8] 山东省科学技术委员会. 山东省海岛志[M]. 济南:山东科学技术出版社,1995:100-130
- [9] 吴伟,吴婷婷,何杰,等. 东太湖河蟹围网生态养殖对水环境的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(2):140-146
- [10] 刘慧,方建光,董双林,等. 莱州湾和桑沟湾养殖海区主要营养盐的周年变动及限制因子[J]. 中国水产科学,2003,10(3):228-233
- [11] Riley J. P., Skirrow G. Chemical Oceanography (Vol. 2) [M]. Beijing: Ocean Press, 1982:2-14
- [12] 孙丕喜,王宗灵,战闫,等. 胶州湾海水中无机氮的分布与富营养化研究[J]. 海洋科学进展,2005,23(2):466-470
- [13] Liu R. Y. Ecology and Living Resources of the Jiaozhou Bay [M]. Beijing: Science Press,1992
- [14] 彭云辉,朱俊怀,彭玉燕,等. 珠江河口水体中的 DO 和 COD 的调查[J]. 南海研究与开发,1992(3):14-19