

文章编号: 1674-5566(2010)01-0091-07

## 2007年乐清湾富营养化空间特征及其成因分析

陈雷<sup>1</sup>, 徐兆礼<sup>2</sup>, 陈胜<sup>1</sup>, 蔡圣伟<sup>1</sup>, 吕宝强<sup>1</sup>, 鲍旭平<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局温州海洋环境监测中心站, 浙江温州 325027;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

**摘要:**依据2007年4月和8月在乐清湾 $28^{\circ}05' \sim 28^{\circ}35' \text{N}$ ,  $121^{\circ}00' \sim 121^{\circ}20' \text{E}$ 海域进行海洋综合调查,对乐清湾营养水平指标(E)和有机污染指数(A)值的空间分布特征进行研究,讨论这些分布特征与营养盐、潮流场、污染源和叶绿素之间的联系。结果表明,乐清湾E值和A值分布趋势基本相同,都是由内湾向外湾数量逐渐减少。相关分析表明:溶解态磷酸盐(DIP)和溶解态无机氮(DIN)与E值、A值之间都有密切的相关关系( $P=0.0000$ ),因而是污染乐清湾水体的主要因子。营养盐分布特征的形成,主要由乐清湾地形、潮流、污染源和叶绿素特征决定的,在乐清湾海域,沿外湾东部的海槽是乐清湾中湾和外湾涨落潮的主要路径,形成外湾较低的DIP和DIN值。而养殖污染带来总氮和总磷的数量分别接近和超过50%,因而是乐清湾水体变劣的重要外源性污染物,其次是生活污水和化肥的输入。夏季,浮游植物对营养盐大量利用,有效地减少了乐清湾营养盐的含量,进一步导致水体营养水平指标(E)和有机污染指数(A)值的降低。4月乐清湾水体处于富营养化、严重污染和亚健康状态。8月,内湾和中湾属于污染海域,处于亚健康状态。外湾大部分属于较清洁海域,处于健康状态。

**关键词:**富营养化; 有机污染; 营养盐; 叶绿素; 潮流场; 乐清湾

**中图分类号:** X 145      **文献标识码:** A

## Causal analysis and distribution of eutrophication index in the Yueqing Bay in spring-summer of 2007

CHEN Lei<sup>1</sup>, XU Zhao-li<sup>2</sup>, CHEN Shen<sup>1</sup>, CAI Shen-wei<sup>1</sup>, LÜ Bao-qiang<sup>1</sup>, BAO Xu-ping<sup>1</sup>

(1. Wenzhou Marine Environmental Monitoring Center Station, SOA, Wenzhou 325027, China;

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** Based on the data from an oceanographic census at the Yueqing Bay ( $28^{\circ}05' \sim 28^{\circ}35' \text{N}$ ,  $121^{\circ}00' \sim 121^{\circ}20' \text{E}$ ) in April and August of 2007, this paper discussed the distribution of eutrophication index (value E) and organic pollution index (value A) in the waters, then analyzed relationship among the distribution and nutrient salts, tidal current field, pollution sources and chlorophyll. Results showed the similar trend of the distribution between value E and value A, whose concentration all decreased from inner bay to outer bay. There was the linear correlation between value E, value A with dissolved inorganic phosphorus (DIP) and nitrogen (DIN) ( $P=0.0000$ ). These tell us that eutrophication in the Yueqing Bay affected by DIP and DIN were determined by the background of topography and geomorphology, the distribution of tidal current field.

收稿日期: 2009-02-21

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(90511005); 我国近海海洋综合调查与评价908专项(908-02-01-03)

作者简介: 陈雷(1971-), 男, 工程师, 主要从事海洋生态环境监测、海洋环境评价方法方面的研究。E-mail: chenle@eastsea.gov.cn

通讯作者: 徐兆礼, E-mail: xiaomil@public4.sta.net.cn

pollution sources and chlorophyll in the Yueqing Bay. For the waters marine trough along eastern water of outer bay was main path for flood and neap currents. the latter caused low DIP and DIN value there. Pollution from aquaculture was main reasons for eutrophication because 50% DIP and DIN came from the source. then living pollution water and chemical fertilizer pollution. Low DIP and DIN in August came from the utilization of phytoplankton to the nutrient salts. further decreased the value E and value A. In April, water quality of the Yueqing Bay was defined as eutrophication, heavy pollution and sub-health state, but in August, the water quality was defined as common pollution and sub-health state in inner and middle bays, better clean water quality and health state in outer bay.

Key words: eutrophication; organic pollution; nutrients; chlorophyll; tidal current field; Yueqing Bay

乐清湾是浙江三大海湾之一,位于瓯江口外北侧,湾域形似葫芦,口门宽约 21 km,纵深达 40 km,平均宽约 10 km,中部最窄处为 4.5 km. 1977年温岭和玉环之间漩门水道被封堵,造成乐清湾与外海水体交换环境恶化.近年来,乐清湾周围陆上的生活污水和工业污水直接排入湾中,水产养殖,网箱养殖剩余的有机物质流入,都致使湾内水质遭到严重污染.据国家环境保护总局在 2003年发布的《2002年中国近岸海域环境质量公报》,浙江乐清湾的水质劣于 4类水质,属于我国污染最为严重的 8个近岸海域之一.

对于乐清湾海域生态系统的研究,有浮游动物<sup>[1]</sup>、底栖动物方面<sup>[2]</sup>,但是更多的研究是关注当地水质变化和富营养化进程.例如,金永平等<sup>[3]</sup>研究了乐清湾水质变化历史过程,但主要采用 2000年以前的资料,没有空间特征分析.姚伟民等<sup>[4]</sup>对乐清湾海水增养殖区的环境质量状况进行分析,主要针对乐清湾顶养殖区附近的小范围海域.高生泉等<sup>[5]</sup>分析了乐清湾水环境特征和富营养化成因,期间调查站位 19个.本研究采用 2007年调查资料,设 31个调查站位,调查范围覆盖整个乐清湾及其邻近海域,以便通过比较,进一步了解乐清湾富营养化最新状况和空间特征.同时进行流场分析和污染源调查分析,籍此分析富营养化空间特征形成的原因,提出目前治理水体污染的建议.

## 1 材料与方法

### 1.1 调查地点,采样和测定方法

2007年 4月和 8月在整个乐清湾及其邻近海域(28°05'~28°35'N, 121°00'~121°20'E)进行了 2次海洋综合调查.期间共设 31个调查站位,

站位布设见图 1.水化学样品采集、处理和测定均按照《海洋监测规范》进行,分析所用到的水化学指标:表层盐度,化学需氧量(COD, mg/L),溶解氧(DO, mg/L),pH值,无机磷(DIP, mg/L),亚硝酸盐氮,硝酸盐氮和氨氮指标分别采用盐度计法,碱性高锰酸钾氧化法,碘量法,pH计法,磷钼蓝分光光度法,奈乙二胺分光光度法,锌镉还原法和奈乙二胺分光光度法测定<sup>[6]</sup>.无机氮(DIN, mg/L)是亚硝酸盐氮,硝酸盐氮和氨氮数量之和.石油类( $\mu\text{g/L}$ )采用紫外分光光度法测定.叶绿素的测定采用分光光度法测定<sup>[6]</sup>.污染源调查数据来自政府机构的统计数据.

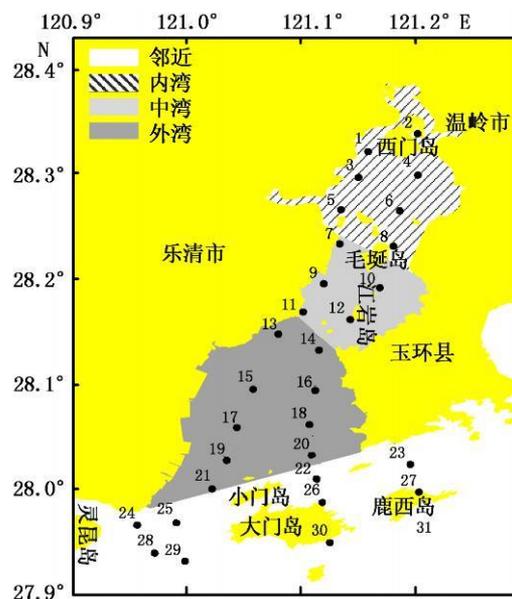


图 1 调查站位

Fig 1 Sampling stations

### 1.2 生态健康指标计算

根据《近岸海洋生态健康评价指南》(HY/T087-2005)<sup>[7]</sup>,按下式计算水环境健康指

数:

$$W_{\text{indx}} = \frac{\sum_{i=1}^m W_q}{m} \quad (1)$$

式中:  $W_{\text{indx}}$  为水环境健康指数;  $W_q$  为第  $q$  项评价指标赋值;  $m$  为评价区域评价指标总数。当  $5 \leq W_{\text{indx}} < 8$  时, 水环境为不健康; 当  $8 \leq W_{\text{indx}} < 11$  时, 水环境为亚健康; 当  $11 \leq W_{\text{indx}} \leq 15$  时, 水环境为健康。评价指标及赋值参见文献 [7]。

表 1 水环境评价指标及赋值  
Tab. 1 Indices and given values in water environmental assessment

指标	I	II	III
溶解氧 (DO)(mg/L)	$\geq 6$	$\geq 5 \sim < 6$	$< 5$
pH	$> 7.5 \sim \leq 8.5$	$> 7.0 \sim \leq 7.5$ 或 $> 8.5 \sim \leq 9.0$	$\leq 7.0$ 或 $> 9.0$
无机磷 (DIP)(mg/L)	$\leq 0.015$	$> 0.015 \sim \leq 0.030$	$> 0.030$
无机氮 (DN)(mg/L)	$\leq 0.2$	$> 0.2 \sim \leq 0.3$	$> 0.3$
石油类 ( $\mu\text{g/L}$ )	$\leq 50$	$> 50 \sim \leq 300$	$> 300$
赋值 <sup>[7]</sup>	15	10	5

### 1.3 营养指标计算

依据《海湾生态监测技术规程》<sup>[8]</sup>采用营养指数 (E) 法对水体营养水平进行评价,  $E \geq 1$  则水体富营养化。其计算公式为

$$E = \text{COD} \times \text{DN} \times \text{DIP} \times 10^6 / 4500 \quad (2)$$

式中: COD、DN、DIP 分别为化学需氧量、无机氮、无机磷, 单位为  $\text{mg/L}$ 。

### 1.4 有机污染指数计算

依据《海湾生态监测技术规程》<sup>[8]</sup>海水有机污染指数按下式计算:

$$A = \text{COD} / \text{COD}_0 + \text{DN} / \text{DN}_0 + \text{DIP} / \text{DIP}_0 - \text{DO} / \text{DO}_0 \quad (3)$$

式中: A 为有机污染指数; COD、DN、DIP、DO 分别为水体中化学需氧量、无机氮、无机磷和溶解氧的实测值;  $\text{COD}_0$ 、 $\text{DN}_0$ 、 $\text{DIP}_0$ 、 $\text{DO}_0$  为分别为水体中化学需氧量、无机氮、无机磷和溶解氧的评价标准值; 其中,  $\text{COD}_0 = 3.0 \text{ mg/L}$ ,  $\text{DN}_0 = 0.30 \text{ mg/L}$ ,  $\text{DIP}_0 = 0.015 \text{ mg/L}$ ,  $\text{DO}_0 = 5.0 \text{ mg/L}$ 。

### 1.5 潮流流场模拟

水动力流场模拟<sup>[9]</sup>根据 1991 年至 2001 年坎门站的实测潮位资料, 对该站的潮差进行分析统计, 得出该站的累积频率为 90%、50% 和 10% 的潮差为 2.68 m、3.90 m 和 5.56 m, 分别对应于小

潮、中潮和大潮。由此在实测资料寻找相应潮差构造大、中、小潮型, 边界取同时刻的潮过程进行构造。

### 1.6 评价指标和水环境因子的相关性

分析评价指标与主要水环境因子变化之间的相关性, 用同步观测到的资料, 取 COD、无机磷、无机氮、表层盐度 4 个因子作自变量, 分别以有机污染指数和营养指数为因变量, 采用逐步回归分析方法计算, 进行自变量对因变量回归方差的贡献分析。具体方法参见文献 [10]。

## 2 结果

### 2.1 营养指标 (E) 值, 有机污染指数 (A) 和健康指数的平面分布

乐清湾及其邻近海域营养指标 (E) 值在 4 月有两个高值区域, 其一是湾底, 另一个是瓯江口大门岛以西和小门岛西北, 最高值在瓯江口海域。而鹿西岛和大门岛以北水道以及中湾和外湾东部水域的 E 值明显低于西侧海域。各海域 4 月 E 值平均值内湾为 11.46, 中湾为 10.31, 外湾为 10.88, 邻近海域为 22.35。到了 8 月, E 值分布特征表现为内湾  $>$  中湾  $>$  外湾  $>$  邻近海域, 上述各海域 8 月 E 值平均值分别是 10.96, 4.65, 1.57 和 1.38, E 值最高位在湾顶。

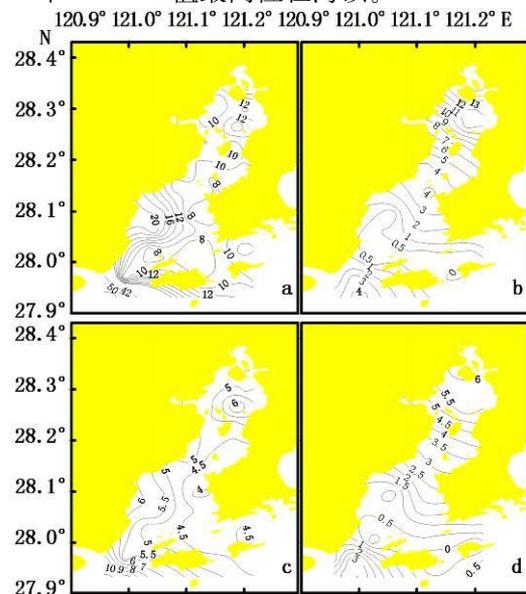


图 2 乐清湾不同季节 E 值和 A 值分布  
Fig. 2 Distribution of E value and A value in the Yuying Bay  
a 4 月 E 值; b 8 月 E 值; c 4 月 A 值; d 8 月 A 值。

有机污染指数(A)值分布趋势与营养指标(E)值分布特征相同,其中A值平均值内湾为5.07,中湾为4.83,外湾为4.79,邻近海域为6.28。到了8月,高值出现在湾顶,低值在鹿西岛、大小门岛以北的湾口海域。A值平均值内湾为5.61,中湾为3.52,外湾为1.23,邻近海域为1.29。

4月水环境健康指数均为11,处于健康和亚健康的临界点。8月除了外湾和邻近海域多数站位指数高于11,中湾和内湾水环境健康指数均在11附近。健康指数平均值为内湾10.9,中湾11.0,外湾12.7。

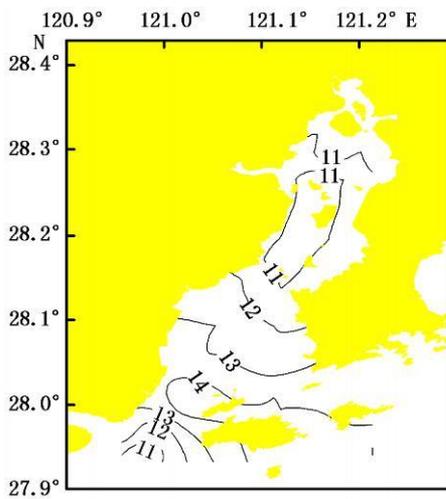


图3 乐清湾8月水体生态健康指数的分布  
Fig. 3 Horizontal distribution of water health index values in the Yueqing Bay during August

## 2.2 E值和A值与水化学指标的关系

由COD、无机磷、无机氮、表层盐度对E值和A值的逐步回归分析筛选得知,乐清湾E值和A值的变化都与无机氮(DN)和无机磷(DIP)密切相关,而与COD和表层盐度无关。4月DN和DIP与E值的二元回归方程是  $E = -35.75 + 348.08P + 30.42N$  ( $R = 0.97$ ,  $F = 227.55$ ,  $P = 0.0000$ ), DN和DIP与A值的二元回归方程是  $A = -1.80 + 74.47P + 3.35N$  ( $R = 1.0$ ,  $F = 1763.15$ ,  $P = 0.0000$ )。8月DN和DIP与E值的二元回归方程是  $E = -2.55 + 8.84P + 11.23N$  ( $R = 0.94$ ,  $F = 107.71$ ,  $P = 0.0000$ ), DN和DIP与A值的二元回归方程是  $Y = -0.90 + 47.93P + 3.91N$  ( $R = 0.94$ ,  $F = 1763.15$ ,  $P = 0.0000$ )。采用方差贡献法分析

DN和DIP对E值或A值影响的重要性。结果表明, DN是引起E值或A值变动的主要因素。例如4月, DN对E值和A值贡献率分别为0.77和0.66, 8月分别是0.92和0.66。而同期DIP的这4个贡献率值仅为0.24, 0.39, 没有贡献和0.34。

## 2.3 营养盐的分布

乐清湾无机磷(DIP)分布比较均匀, 4月除了瓯江口的DIP浓度最高, 为0.06 mg/L。另外在西门岛南侧有一个小范围0.05 mg/L浓度海域, 其它海域相差不大, 基本上为0.04 mg/L。8月DIP数量低于4月, 且不同海域浓度差异明显, 内湾(0.040~0.045 mg/L)和中湾(0.03~0.04 mg/L)远远大于外湾(0.01~0.02 mg/L)。瓯江口也有较高的数量(0.02~0.03 mg/L)。

除了瓯江口外, 4月的其它海域无机氮(DN)浓度差异不大, 东侧海域(0.9 mg/L)小于西侧海域(1.1 mg/L)。瓯江口浓度1.8 mg/L明显高于其它海域。在8月, 不同海域DN的浓度有明显差异, 呈内湾向外湾逐渐降低的趋势, 最低的是大门岛和鹿西岛之间的海域。8月DN的数量低于4月。

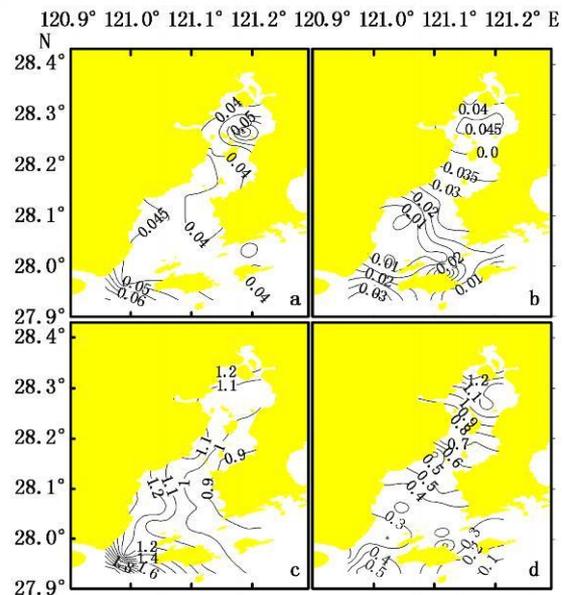


图4 乐清湾DIP和DN的分布

Fig. 4 Distribution of DIP and DN in the Yueqing Bay  
a 4月DIP; b 8月DIP; c 4月DN; d 8月DN.

## 2.4 叶绿素的分布

4月乐清湾叶绿素分布趋势呈现西部高于东

部,湾顶高于湾外的特征。8月叶绿素的高值区集中在外湾和邻近海域的西部,也就是乐清市一侧的海域。8月乐清湾叶绿素数量远远高于4月(图5)。

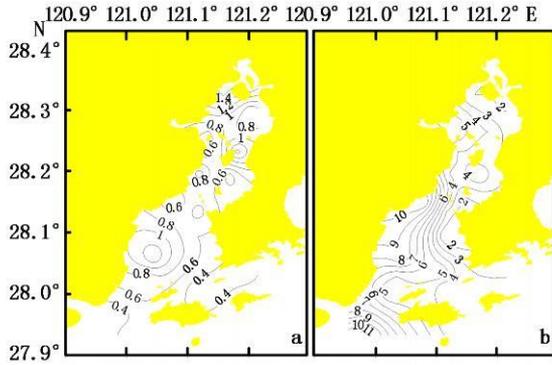


图5 乐清湾叶绿素分布 ( $\times 10^{-3}$  mg/L)  
Fig 5 Horizontal distribution of chlorophyll  
in the Yueqing Bay  
a 4月; b 8月。

## 2.5 水动力学分析

进入乐清湾水流动力主要来自外海的潮流。从图6可见,落潮时,外海海水水位势较低,湾内海水流向湾外,当海水从内湾湾顶流出来时,在内湾,潮流的强度东部大于西部,这从流场线密集分布在内湾东侧可知。中湾流场强度在毛垵岛两侧基本相同,潮流到了毛垵岛以南,流场线密集分布在西部,显示出西部潮流强度较大。到了外湾,外海水位势较低更加显著地表现出来,因而潮流向东,在乐清湾的玉环西部沿海形成较强的潮流。这些潮流继续流向外海,一部分经由玉环和鹿西岛之间的水道外流,主体部分经由大门岛和鹿西岛之间的水道流向外海。涨潮时流向和强

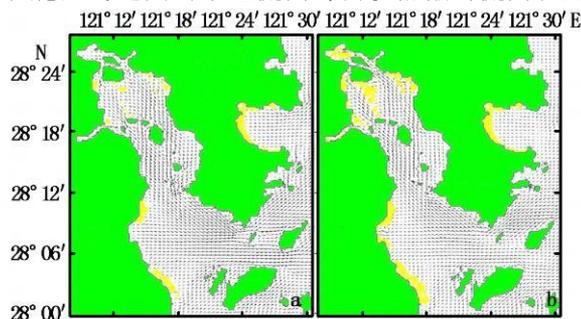


图6 乐清湾的潮流场分布  
Fig 6 Distribution of tidal current field  
in the Yueqing Bay  
a 落潮; b 涨潮。

度相反。在瓯江口,瓯江径流经由大小门岛两侧水道流向外海,其主轴位于大门岛以南水道。涨潮时,潮水对瓯江径流有顶托作用,表现为瓯江口表层水流向西逆瓯江径流方向。

## 2.6 主要污染源分析

依据污染源调查的结果,乐清湾总氮(TN)来源,在内湾主要源于周边市镇和流域的农田化肥,约合715.21 t/a。其次是周边池塘和浅海的养鱼污水排放,为551.05 t/a。虾蟹类养殖,生活污水和水土流失带来的也是内湾总氮(TN)的重要来源。总磷也是如此。在中湾,绝大部分氮磷来自于水产养殖。在外湾,生活污水和化肥流失是氮磷主要来源。

## 3 讨论

### 3.1 乐清湾海水污染状况的空间特征

依据本文计算(图2和图3),4月所有的站位均处于富营养化水平,主要是因为DN大大地劣于国家4类水质标准<sup>[11]</sup>。瓯江口海域超标4倍以上,湾顶海域超标3倍以上。相比之下,DIP仅仅个别站位超4类标准,例如湾顶和瓯江口海域,大多数站位DIP介于国家3类和4类水质标准之间。依据本文E值和A值的计算结果,乐清湾全部海域都达到富营养化程度。除了外湾涨潮潮流路径上20号站位外,其它部分区域水质都达到严重污染水平。到了8月并非所有站位DN超标,例如外湾大部分海域DN优于国家4类海水水质标准,乐清市近岸个别海域水质甚至优于3类海水水质标准。在外湾,DIP浓度较低,大部分甚至达到1类海水水质标准。依据本文E值计算结果,8月内湾和中湾属于富营养化水质,外湾属于未富营养化水质。而A值平面分布显示,内湾属于严重污染海域,中湾属于中度污染海域,外湾大部分属于清洁和较清洁海域,小部分为轻度污染海域。而从健康指标分析结果看,4月乐清湾水体处于亚健康状态,8月内湾和中湾处于亚健康状态,外湾和瓯江口基本上为健康水体。因此,乐清湾湾顶的营养盐污染程度要比湾口严重得多。

### 3.2 乐清湾水质变劣的主要污染因子

依据同步海洋环境监测报告,在乐清湾海域,COD和DO等重要指标都符合国家一类海水

标准<sup>[11]</sup>,依据营养指标(E)和有机污染指数(A)计算公式,可以认为乐清湾海域水质变劣与该海域营养盐的含量指标超标有密切的关系。

依据同步海洋环境监测报告,4月份乐清湾DN浓度范围为0.891~1.302 mg/L,平均1.060 mg/L,全部测站DN浓度超出四类海水水质标准限值。乐清湾DIP浓度范围为0.036~0.067 mg/L,平均0.042 mg/L。其中,二、三类超标率100%,四类超标率10%。8月份乐清湾DN浓度范围为0.159~1.388 mg/L,平均0.681 mg/L。其中,一类超标率95%,二类超标率90%,三类超标率76%,四类超标率71%。而DIP浓度范围为0.003~0.046 mg/L,平均0.029 mg/L。其中,一类超标率76%,二、三类超标率57%,四类超标率10%。与观察到的现象(图4)相同。依据回归分析计算,E值和A值的上升与DN和DIP都有密切的线性关系( $P=0.0000$ )。方差贡献分析表明:DN是影响乐清湾水质变劣的主要营养盐指标,DIP是次要指标。回归分析和方差贡献分析与营养盐平面分布和季节特征结果(图4)基本一

致。这些事实都说明正是由于DN和DIP超标,导致国家认定乐清湾海域被严重污染。

### 3.3 乐清湾水体主要污染源与污染空间特征的关系

依据污染源分析的结果,乐清湾内湾和中湾接纳了超过80%的陆源和海源的总氮和总磷(表2),使得内湾和中湾水质劣于外湾。在平面分布上,由于东侧温峤镇和坞根镇入海营养盐数量较大,形成内湾东部个别海域营养盐浓度最高值的出现(图4),同时明显提高了这一海域的E值和A值(图2、3)。相反,外湾总氮和总磷的入海总量较少(表1),同时外湾的水体较大,处于相对开阔的海域,单位水体接纳的营养盐更少,因此外湾的水质条件远远优于内湾和中湾。由此可见,营养性污染物输入数量是造成乐清湾水体富营养化和有机污染时空特征的重要原因之一。

从表2可见,养殖污染带来总氮和总磷的数量分别接近和超过50%,因而是乐清湾水体变劣的主要原因,其次是生活污水和化肥。

表2 乐清湾营养盐污染源数量分析

Tab. 2 Analysis of nutrients from pollution source in the Yueqing Bay

区域	TN (t/a)				TP (t/a)			
	内湾	中湾	外湾	合计	内湾	中湾	外湾	合计
生活水	227.87	73.99	163.8	465.66	48.56	15.84	34.98	99.38
禽畜	61.68	18.49	24.19	104.36	27.21	6.96	9.86	44.03
陆源	715.21	177.92	298.97	1192.1	48.2	14.45	19.58	82.23
化肥	204.31	60.38	77.27	341.96	24.4	7.23	9.22	40.85
水土	1209.07	330.78	564.23	2104.08	148.36	44.48	73.64	266.48
合计	551.35	595.51	50.83	1197.69	81.92	88.48	7.57	177.97
海源	229.05	272.66	141.78	643.49	34.02	40.51	21.06	95.59
鱼类	50.46	69.65	51.42	171.53	7.72	10.65	7.86	26.23
虾蟹	830.85	937.82	244.04	2012.71	123.66	139.64	36.49	299.79
贝类	2039.92	1268.60	808.27	4116.79	272.02	184.12	110.12	566.26
合计								

注:生活水指生活污水,禽畜指畜牧业污水,化肥指化肥流失污水,水土指水土流失,鱼类指鱼类养殖污水,虾蟹指虾蟹养殖污水,贝类指贝类养殖污水。

### 3.4 乐清湾水体交换与污染状况的关系

乐清湾东部有一海槽,潮流从鹿西岛和玉环之间水道进入乐清湾,沿着玉环沿海向西北伸展,至江岩岛下方向西,沿着乐清市近岸直至清江口附近<sup>[12]</sup>。乐清湾潮流线密集区(图6)与这一深槽重叠。因此,这一海槽经过的海域是乐清湾中湾和外湾涨落潮的主要路径。4月,外湾的这一海域呈现DN和DIP浓度东部低于西部特征,与外湾东部海域潮流较强有一定的关系。由

于外来海水中DN和DIP浓度较低,与外湾水混合,从而降低了外湾水体中DN和DIP含量。潮流在进入湾顶和中湾路径上,由于海水不断与高浓度的DN和DIP水混合,到湾顶时,水体中的DN和DIP已经上升,从而带动内湾的E值和A值上升(图2),健康水平下降(图3)。因此外海水交换、潮流强度和潮流路径特征都是形成乐清湾不同海域污染状况空间差异的重要原因。

### 3.5 叶绿素分布对污染状况的影响

从图4和图5可见,乐清湾4月营养盐的含量远远高于8月,而叶绿素的数量变化相反,8月远远高于4月。一般地,8月不仅是养殖生产污水量较大的季节,也是农业施肥、城市生活污水量较多的季节。但由于海水中的浮游植物在其生长中大量吸收营养盐<sup>[13]</sup>,由此改变海域中营养盐分布格局。夏季,在瓯江口,由于浮游植物大量生长,该季节营养盐的含量处于较低的水平。这一现象也从8月外湾西部海域叶绿素含量较高,氮磷含量较低可见。由于这一海域陆源氮磷输入量不大,潮流强度和方向对其影响较小,因此同期外湾氮磷含量较小与其被浮游植物高度利用有密切的关系,图6叶绿素浓度较大印证了这一点。可以推定,浮游植物在夏季大量利用营养盐,导致乐清湾营养盐的含量减少,这进一步导致水体营养水平指标(E)和有机污染指数(A)值的降低。

### 3.6 改善乐清湾水体污染措施

综上所述,乐清湾水体营养水平指标(E)和有机污染指数(A)指标的恶化主要由DN和DIP数量超标造成。在营养盐出路方面,还无法改变当地的潮流和地形特征,因此依靠潮流无法将更多的营养盐带至湾外。DN和DIP数量主要来自陆源和水产养殖的输入。就目前乐清湾周边经济发展趋势而论,在陆源减排方面,只能减少生活污水的排放,但从表2数据来看,减少陆源生活污水所起效果也是有限的。至于海源减排,需要大规模减少水产养殖,这样做在目前也不切实际。

由于浮游植物大量的生长有利于提高乐清

湾水体质量(图5),因此,改善乐清湾水质,可以利用当地较为成熟的紫菜和羊栖菜的养殖产业。此外,多养贝类有助于降低海洋中蚤类的密度。因此开放思想,转变观念,实施大规模的贝藻养殖。或许是目前改善乐清湾水体质量的最有效的途径。

### 参考文献:

- [1] 刘镇盛,王春生,张志南,等.乐清湾浮游动物的季节变动及摄食率[J].生态学报,2005,25(8):1953-1862.
- [2] 杨俊毅,高爱根,宁修仁,等.乐清湾大型底栖生物群落特征及其对水产养殖的响应[J].生态学报,2007,27(1):34-41.
- [3] 金永平,李佳,姚炎明,等.乐清湾水质变化及其成因探讨[J].环境污染与防治,2005,27(4):247-250.
- [4] 姚炜民,陈雷.乐清湾海水增养殖区环境质量状况及分析[J].海洋通报,2007,26(4):116-120.
- [5] 高生泉,卢勇,曾江宁,等.乐清湾水环境特征及富营养化成因分析[J].海洋通报,2005,24(6):25-32.
- [6] 国家技术监督局.GB17378.4-1998海洋监测规范第4部分,海水分析[S].北京:中国标准出版社,1998.
- [7] 国家海洋局.HY/T 084-2005海湾生态监测技术规程[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [8] 国家海洋局.HY/T 087-2005近岸海洋生态健康评价指南[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [9] 国家技术监督局.GB/T 19485-2004海洋工程环境影响评价技术导则[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [10] 徐兆礼.东海亚强真哲水蚤 *Eucalanus subcaesus* 种群特征的研究[J].生态学报,2006,26(4):1151-1158.
- [11] 国家技术监督局.GB 3097-1997海水水质标准[S].北京:中国标准出版社,1997.
- [12] 张灵杰.浙江乐清湾资源环境特征及其邻近海岸带综合管理[J].资源科学,2000,22(6):57-61.
- [13] Kennington K, Allen J R, Wither A, et al. Phytoplankton and nutrient dynamics in the north-east Irish Sea [J]. *Hydrobiologia* 1999, 393(1-3): 57-67.