

桑沟湾养殖海域的水环境特征

孙耀 赵俊 周诗赉 宋云利 崔毅

陈聚法 方建光 孙慧玲 匡世焕

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要 本文研究了桑沟湾养殖海域的水环境特征, 并与10年前的历史资料作了比较。该湾各种化学指标的垂直分布均匀; 受大面积高密度养殖影响, 该湾水动力状况与10年前相比发生了明显变化, 营养物质输送和海水自净能力降低; 各种化学指标、初级生产力、营养状况及类型等平面分布和季节性变化都有更加显著的差异。在海带养殖期间, IN和IN/IP始终处于低水平, 其季节变化明显受该湾初级生产力制约, 故IN必然成为桑沟湾初级生产的限制因素。另外, 海带养殖也加速了其养殖期间湾内水体中IN的物质循环速率。

关键词 桑沟湾, 养殖海域, 环境因素, 特征

桑沟湾是北方重要海水养殖基地。由于缺乏对该海域养殖容纳量的科学了解, 湾内养殖无限制增长致使该海域近年来连续出现养殖生物低增长率、高死亡率和养殖生产上高投入、低产出等问题。如该湾扇贝养殖周期变得比其它海区延长半年到1年, 产量明显比湾外低, 湾内沿岸和中部海区海带的长度只及湾口海带长度的1/3, 干鲜重比及海带产量也明显偏低。上述现象似乎表明, 桑沟湾的增养殖水平已超过了其环境的容纳能力。

1 调查区域与方法

1.1 调查区域及站位

站位设置见图1。调查于1993年11月至1994年10月期间进行, 其中物理海洋学调查在湾口A断面和湾中部B断面各设连续测站3个, 分别在1994年3月、7月和10月的大、小潮汛期内进行了6次海流连续观测。每站挂安德拉海流计2台(表层和底层), 作25h周日同步观测, 记录每站海流变化, 并作水文物理及化学要素采样观测; 同时, 在湾内蛎江码头边设潮位站做潮位变化观测, 并辅以湾内、外设专项大面站若干, 观测资料用于湾内外水交换的计算。化学调查(包括叶绿素a)共设23个表层水调查站位, 分别在1993年11月和1994年10月之间计9个航次进行; 水深>7m时, 加采底层水样。初级生产力调查共设7个站位,

收稿日期: 1997-04-21

其中 4、5、6 站为浮游植物的同化系数测定站位;调查分别于 1994 年 4、7、10 月份进行。

1.2 调查方法

潮流数值模拟用二维单层流体力学数值模式和隐式方向交替(ADI)法进行计算^[14]。海水交换率或半交换周期采用海水中 COD 值作为指标物质,按照 Parker 和柏井的海水交换定义^[4]计算湾内外的海水交换率。

海洋化学调查中分别用塑料水桶或国产 QCC-2 型颠倒采水器采集表、底层水样,现场分析。分析项目包括: $\text{NO}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 、 IN 、 IP 、 COD 、 Chla 等,均采用我国《海洋监测规范》方法分析。

采用叶绿素法^[10,15]测定和估算该水域的初级生产力,其估算公式为: $P = R/k \cdot C_{\text{Chla}} \cdot Q_P$,按 ^{14}C 模拟培养法^[5],测定 3 个站位不同光学深度下的光合速率 P_i ,并由其积分值与相应的 Chla 含量计算 Q_P 值。

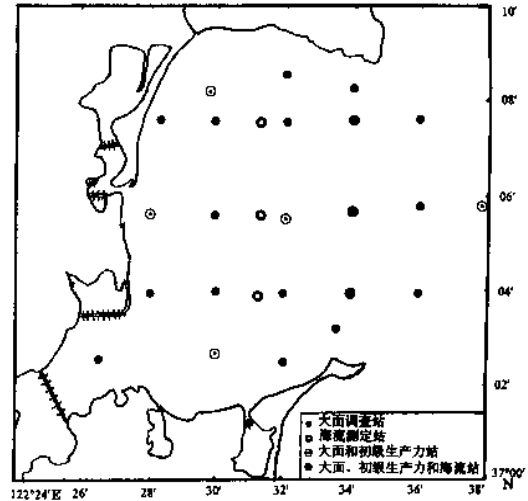


图1 调查区域及站位

Fig. 1 Investigated area and stations

2 结果

2.1 物理海洋学特征

2.1.1 潮汐 从太平洋进入黄海的潮波,向北传播中受山东半岛和辽东半岛反射。入射波与反射波相互干涉,在黄海形成 2 个逆时针方向旋转潮波系统。其中半日分潮无潮点位于成山角附近。受此潮波系统控制,桑沟湾的 $(H_{kl} + H_{ol})/H_{m2}$ 计算值等于 0.72,大于 0.5,而小于 2.0,潮汐属于不正规半日潮类型。主要特点是:在 1 天内相邻 2 次低潮潮高有显著不同,涨潮和落潮历时相差较大。从蛎江码头观测得到的潮位变化近似正弦曲线。大潮汛期大潮差平均为 1.5 m,小潮差为 1.1 m;小潮汛期大潮差平均为 1.2 m,小潮差为 0.75 m。根据调和常数计算求得平均大潮差为 1.47 m,平均小潮差为 0.57 m。

2.1.2 潮流 根据调和与分析算得 $(W_{ol} + W_{kl})/W_{m2}$ 小于 0.5,桑沟湾潮流性质应属于正规半日潮类型。而从各站实测流向流速变化过程曲线来看,基本上属于往复流类型。涨潮时湾口中、北部海水朝西南流入湾内,南部海水朝南偏东流出湾外,落潮时相反,中、北部海水朝东北流出湾外,南部海水朝西北偏北流入湾内。转流时刻相差不大,半潮时流速最强,平潮时最弱。表、底层潮流流向除 A_1 站个别时刻有相反情况外,其它各站各时刻观测到的表、底层流向基本相同。湾口北部流速比南部大。

2.1.3 潮流数值模拟 桑沟湾的海水运动形式主要是周期性的潮流运动。为更全面了解桑沟湾的水动力状况,我们对桑沟湾的潮流系统进行了模拟。计算结果得到的 S_2 、 M_2 分潮流椭圆图,其长轴方向基本上与岸线平行,短轴都比较小,湾内潮流具有往复流性质。从量值上看, S_2 分潮最大流速在湾北口 8.1 cm/s 左右,湾南口在 1.9 cm/s 左右, M_2 分潮最大流速在湾北口 24.5 cm/s 左右,湾南口在 5.9 cm/s 左右。流速由湾口向内递减,湾底部较小。

涨潮流由湾的北口流入湾内,在湾西部近岸转南,然后朝东流出湾外;落潮流向相反。流速一般不大,湾口潮流较强,转流时间较晚,转流快;湾内潮流较弱,转流时间早,转流慢。高低平潮时流速最弱,半潮时流速最强。

2.1.4 海水交换率和半交换周期 春季(3、4月)、秋季(10月)和夏季(7月)的平均半交换期分别为38.5、45.5和31.5 d,即秋季水交换比较好,春季次之,夏季最差。显然,该结果与各季节养殖生物量多少有关。

2.2 海洋化学特征

2.2.1 化学因子的时空分布

(1) 平面分布及其季节变化

IN 1月和4月在该湾西北或西南沿岸海域各有1个较小的相对高值区;7月该高值区面积有所扩大;10月湾西北部大部分海域均呈较高值,且在湾口南部也出现另1高值区。该海域IN含量变化范围1月1.26~249.2(平均39.36) $\mu\text{g/L}$;4月4.48~137.9(平均47.78) $\mu\text{g/L}$;7月4.02~83.74(平均82.16) $\mu\text{g/L}$;10月21.42~775.04(平均286.76) $\mu\text{g/L}$ 。

IP 1月和4月IP的平面分布基本由湾口向湾内递减;7月相对高值区位于湾中部海域;10月高值区则出现在湾口大部海域及部分沿岸海域。IP含量范围1月5.27~29.45 $\mu\text{g/L}$,平均14.82 $\mu\text{g/L}$;4月2.17~14.26 $\mu\text{g/L}$,平均7.30 $\mu\text{g/L}$;7月0~15.19 $\mu\text{g/L}$;平均5.95 $\mu\text{g/L}$;10月份0~73.78 $\mu\text{g/L}$,平均16.70 $\mu\text{g/L}$ 。

COD 1月COD在湾中部海域呈低值区;4月和7月在湾西北部沿岸形成高值区,并由此向湾口递减;10月湾内分布较均匀。COD含量范围1月0.24~2.49 mg/L ,平均1.23 mg/L ;4月0.22~1.53 mg/L ,平均0.70 mg/L ;7月0.66~2.25 mg/L ,平均1.06 mg/L ;10月0.23~0.84 mg/L ,平均0.54 mg/L 。

Chla 1月和7月Chla在湾西部沿岸海域呈高值区,并由此向湾口递减;4月湾中部海域呈较低值;10月平面分布较均匀。Chla的含量范围1月0.86~18.43 $\mu\text{g/L}$,平均4.13 $\mu\text{g/L}$;4月0.79~4.90 $\mu\text{g/L}$,平均2.31 $\mu\text{g/L}$;7月1.10~31.38 $\mu\text{g/L}$,平均6.88 $\mu\text{g/L}$,呈全年最高值;10月0.80~3.06 $\mu\text{g/L}$,平均1.69 $\mu\text{g/L}$ 。

(2) 垂直分布 桑沟湾湾口开阔,湾内外的水交换量较大;且湾内地势平坦,水也较浅,因此,该海域垂直混合均匀。本文取表底层海水中各化学因子2组对应的数据,进行t双向检验($df=68$),结果表明无显著性差异。

2.2.2 营养状况及类型

(1) 单项指标分析 参考国内外有关富营养化临界值^[1,6,9],拟定COD 1~3 mg/L 、IN 0.2~0.3 mg/L 、IP 0.015~0.02 mg/L 、Chla 5.0 $\mu\text{g/L}$ 为富营养化阈值,并依此进行该湾营养状况的单项指标分析。

IN 1月和4月,除个别站达富营养化临界值外,整个海湾均属贫营养水平。7月在湾北部沿岸以南的极小区域呈富营养水平。10月在湾北部和南部沿岸及南岸湾口大部分水域呈富营养水平。

IP 1月IP在由湾中部至湾口大部分水域呈富营养类型。4月和7月整个海湾呈贫营养类型。10月份分别在湾西北近岸较小水域和湾口水域呈富营养水平。

COD 1月和4月该湾沿岸及湾口附近水域达富营养水平,其中1月份较高,为4次调查最高月份。7月湾西北至南岸水域为富营养水平。10月份整个海湾为贫营养型。

Chla 1月在湾西部沿岸水域叶绿素呈富营养水平,超标率达26.09%。4月份湾西部沿岸和湾中部水域呈富营养化水平,超标率达47.8%。

(2)综合分析 采用目前国内常采用的营养程度评价公式^[1,6]来划分桑沟湾海域的营养类型, $E = \text{COD}(\text{mg/L}) \times \text{IN}(\mu\text{g/L}) \times \text{IP}(\mu\text{g/L}) / 1\,500$, 当该式的计算结果 ≥ 1 时,即为富营养型。计算结果表明,桑沟湾水域的富营养化状况有明显的季节性变化。1月湾西南角的个别站有超标,超标率为14.29%;4月整个海域呈贫营养类型;7月从湾西北沿岸向东南扩展至湾中部水域为富营养水平,富营养化程度达47.83%, E 值最高达7.78。

2.2.3 IN/IP 及初级生产的限制性因素

(1)IN/IP 桑沟湾的IN/IP比值见图2,年变化范围为5.9~74,其中1至5月份的变化范围较小(5.9~12.8),尤其在海带养殖区仅为2.9~5.1。有研究表明^[13],浮游植物的生长以接近16:1的比值自海水中吸收氮和磷,明显高于1至5月份桑沟湾的IN/IP。且此时IN的含量一般低于浮游植物生长和繁殖的需求下限^[11,12,16],显然,可以认为IN是该时期桑沟湾初级生产的限制因子。

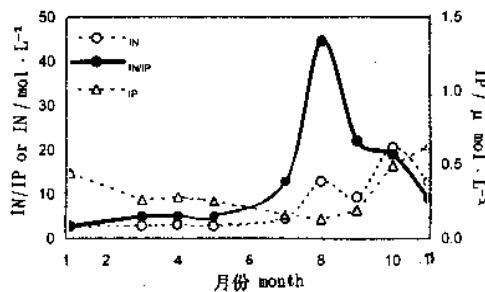


图2 桑沟湾IN、IP、IN/IP值及季节变化

Fig.2 IN, IP, IN/IP values and their seasonal change in Sanggou Bay

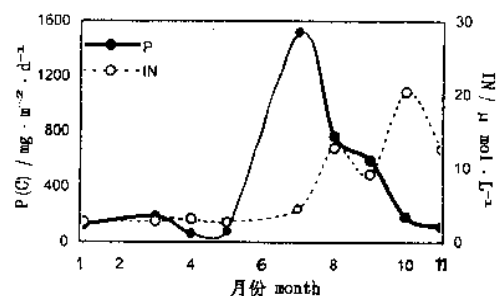


图3 桑沟湾P值与IN之间的关系

Fig.3 Relationship of P and IN in Sanggou Bay

(2)IN与初级生产的关系 桑沟湾海带养殖时间从当年11月至次年5月。从图2可见,该时期IN始终处于低水平,可见IN是受桑沟湾海带养殖的影响,致使该时期浮游植物初级生产力(P)也处于较低水平;5月份海带开始收获, P 值开始大幅度上升,并于7月份达到全年的峰值,从而限制了IN的上升幅度。7月份过后, P 值又较大幅度下降,湾内IN的限制因素基本消失,故IN也开始上升,并于10月份达到全年的峰值(图3),随后又开始降低,并在其后的又一个海带养殖期内持续呈全年的最低水平。显然,桑沟湾初级生产与IN之间存在着较为密切的制约关系。

2.2.4 海带养殖期间IN补充量及存留时间的估算

(1)IN补充量 作为海带与贝类的集约化养殖海域,桑沟湾海带养殖期间IN的补充过程主要包括:湾内外水交换携入、沉积物-水界面物质交换、径流输入和养殖贝类(栉孔扇贝等)的排泄,其补充量分别为1.77、2.55、0.04、1.41 t/d。其中,沉积物溶出过程是桑沟湾IN的主要补充过程,湾内外水交换和养殖贝类排泄次之。

(2) 湾内 IN 存留时间的估算 假设桑沟湾生态系统处于稳态, 则 IN 的输入速率 = 输出速率。那么 IN 在湾内的停留时间(t)可以用 IN 现存量及其输入或输出速率进行估算, 其中现存量与输入速率分别采用海带养殖期间湾内 IN 的平均浓度和总补充量求得, 即:

$$t = \text{现存量} / \text{输入速率} = 80.89 \text{ t} / 5.77 (\text{t} \cdot \text{d}^{-1}) = 14 \text{ d}$$

在海带养殖期间, 桑沟湾水体中 IN 的存留时间仅 14 d, 其循环速率是很快。显然是水产养殖加快了该湾 IN 的循环速率。

2.3 初级生产力及其季节变化

4 月份, 桑沟湾西部沽河河口区的初级生产力较高, 且由西向东递减, 至湾中部及东北部湾口区呈最低值。7 月除高值区扩散至湾西北部外, 分布趋势与 4 月相同, 但量值有很大差别。10 月该湾初级生产力的平面分布与 4、7 月差异较大, 主要表现为湾中部的低值区消失, 湾西北部、中部部分区域的初级生产力相对较高, 并向湾口递减; 受排污水的影响, 湾西北部的沽河河口区存在一个略低于湾西北部的较高值区。

桑沟湾初级生产力的平面和季节差异很大。平均初级生产力(C) 7 月 > 10 月 > 4 月, 相同季节的变化范围在 4、7、10 月依次为 10~224、143~3 419、50~238 $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$; 其最大值和最小值分别出现在 7 月湾西北部沽河河口区和 4 月湾口北部海域。这种变化(尤其是 7 月)之所以明显大于周围海域^[2,3,8], 与该湾的水产养殖和区域性污染不无关系。

3 讨论

3.1 与历史调查资料的比较

80 年代末, 桑沟湾的水产养殖量得到持续的大幅度增长, 从而引发了该湾的养殖生物低增长率、高死亡率和养殖生产上高投入、低产出等问题。该期间桑沟湾水环境的变化可从本调查资料与 10 年前的历史资料^[7]的比较和分析中得出。

(1) 与 1982 年比较, 近年来大面积高密度养殖对海水流动有很大阻碍作用, 使桑沟湾的水动力结构发生了重大变化。海水流动的速度约降低 50%, 湾内、外海水交换率减少约 1.7%, 海水半交换周期延长 11 个潮周期, 严重影响生物生长需要的营养物质的输送和补充, 以及污染物的迅速排除和净化。

(2) 1983 年, 桑沟湾 IN 和 IP 的季节变化范围分别为 3.36~38.78 $\mu\text{g}/\text{L}$ 和 3.72~14.26 $\mu\text{g}/\text{L}$, 属氮磷营养盐贫乏区域; 与黄渤海其它非养殖海域相似, 桑沟湾的 IN 和 IP 主要与浮游植物量相关, 而与湾内海水养殖无关; 由于该时桑沟湾 IN 和 IP 浓度始终低于浮游植物的最低要求下限^[11,12,16], 而且 IN/IP 值的全年变化范围仅为 0.47~3.05, 显然, IN 是该湾初级生产的限制因子。与 10 年前比较, 目前显著特点是氮磷营养盐的季节变化幅度明显变大, IN 尤甚; 这种变化与湾内水产养殖量(尤其是贝类)大幅度增长密切相关。例如, 在 1~5 月份的海带养殖期间, IN 浓度仍较低, 且为初级生产的限制因子; 7 月份以后, 随着海带收割完毕, 该海域失去了对 IN 的主要吸收控制因素, 加上养殖双壳贝类的排泄作用, 使 IN 浓度迅速增大, 甚至达到富营养水平。

与 10 年前比较, COD 值降低, 季节变化幅度明显增大, 这可能与 COD 测定中未扣除颗粒态有机物, 而双壳贝类又滤食颗粒态有机物有关。

(3) 从前面的讨论可知, 水产养殖状况的分布已成为初级生产力分布的制约因素, 10 年前 2 者间无显著关系。10 年来桑沟湾年平均初级生产力无显著变化, 但其季节变化幅度明

显增大,且量值排列顺序由过去的10月>7月>4月转变为7月>10月>4月。显然,上述变化与80年代后期该海域水产养殖量大幅度增加密切相关,而水产养殖有季节性。

3.2 水环境特征与水产养殖的关系

(1)由于3~7月份系海带生长盛期及收获季节,扇贝笼也挂养下海完毕,湾内的养殖生物量和养殖设施最多,海水流动相对不畅通,故此时海水交换率较慢,交换湾内一半旧水需要的时间比秋季长。

(2)该湾海水养殖可粗略划分为海带养殖区、扇贝养殖区和海带与扇贝混养区3种类型。由于海带等大型藻类吸收作用及扇贝等双壳类排泄作用的控制,使该湾IN和IP具有显著的平面变化(见表1)。海带养殖期和养殖区的IN、Chla和COD值明显较低,且其分布顺序为海带养殖区<海带扇贝混养区<扇贝养殖区,IP的分布趋势不显著。海带养殖期过后,海带及其与扇贝混养区的IN、Chla和COD值迅速升高,而扇贝养殖区该指标始终较高。

表1 桑沟湾不同养殖海域化学与生物指标的测定结果

Table 1 The results of chemical and biological factors of different aquaculture waters

养殖区域 culture waters	化学和生物学指标 che. and bio. factors	1月 Jan.	4月 Apr.	7月 July	10月 Oct.
扇贝养殖区 scallop culture	COD/(mg·L ⁻¹)	1.28	0.95	1.03	0.63
	IN/(μg·L ⁻¹)	56.55	82.78	86.69	507.44
	IP/(μg·L ⁻¹)	8.95	4.92	6.42	12.57
	Chl-a/(μg·L ⁻¹)	7.36	3.64	12.46	1.96
扇贝海带混养区 polyculture of scallop and kalp	COD/(mg·L ⁻¹)	0.80	0.57	1.39	0.42
	IN/(μg·L ⁻¹)	18.39	32.25	131.51	119.87
	IP/(μg·L ⁻¹)	13.95	4.36	5.37	20.31
	Chl-a/(μg·L ⁻¹)	2.60	1.98	10.58	2.11
海带养殖区 kalp culture	COD/(mg·L ⁻¹)	1.44	0.58	0.83	0.56
	IN/(μg·L ⁻¹)	30.50	26.28	32.32	162.70
	IP/(μg·L ⁻¹)	20.46	11.60	6.45	20.46
	Chl-a/(μg·L ⁻¹)	1.69	1.24	6.57	1.04
整个海区 all waters	COD/(mg·L ⁻¹)	1.23	0.70	1.06	0.54
	IN/(μg·L ⁻¹)	39.36	47.48	82.16	286.75
	IP/(μg·L ⁻¹)	14.82	7.30	5.95	16.70
	Chl-a/(μg·L ⁻¹)	4.13	2.31	9.68	1.69

总之与10年前比较,包括物理海洋学、海洋化学及海洋生物学在内的桑沟湾水环境特征已发生了显著变化。而上述许多现象都说明,这种变化与近年来水产养殖迅速发展密切相关。其中有些变化有可能对湾内水产养殖产生负面影响,例如,海带养殖造成局部海区营养盐严重缺乏,不但限制了自身的生长,也大大减小了浮游植物的繁殖与生长速率,再加之扇贝等养殖贝类的大量摄食,导致湾内浮游植物量低下,从而因饵料生物不足引起湾内养殖贝类生长速率及肥满度降低等生态现象。水产养殖引发的湾内水动力结构的重大变化,严重影响生物生长所需营养物质的输送和补充,以及污染物的迅速排除和净化,进一步加重了局部养殖环境的恶化。因此,今后应更加深入地研究和了解环境与养殖间的内在联系,通过合理调整养殖密度、养殖品种结构及养殖的总体布局等优化手段,促进环境质量和养殖容量的相互结合,以保证该湾水产养殖业的持续与稳定发展。

参 考 文 献

- 1 田家伯,等. 黄河口附近海域有机污染与赤潮生物的调查研究. 海洋环境科学, 1983, 2(1): 46~53
- 2 朱明远,等. 黄淮海区的叶绿素 *a* 和初级生产力. 黄渤海海洋, 1993, 11(3): 38~51
- 3 吕瑞华,朱明远. 山东近岸水域的初级生产力. 黄渤海海洋, 1992, 10(1): 42~47
- 4 匡国瑞,周德坚. 环境容量在养虾海湾中的应用. 海洋湖沼通报, 1988(2): 39~48
- 5 李永祺. 用¹⁴C法测定海洋初级生产力. 海洋科学, 1982(6): 51~55
- 6 邹景忠,等. 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
- 7 国家海洋局第一海洋研究所. 桑沟湾增养殖环境综合调查研究. 青岛: 青岛出版社, 1988(7): 11~12
- 8 费尊乐,等. 渤海生产力研究 II. 初级生产力及潜在渔获量的估算. 海洋学报, 1988, 10(4): 481~489
- 9 青木阳二弓. 富营养化指标—水环境指标. 思考社, 1979
- 10 Cadée G C. Primary production of the Guyana coast. Netherlands J of sea Res, 1979, 4(1): 128~143
- 11 Foff G E. Primary productivity. In: Chemical Oceanography. Academic Press. 1975, 2
- 12 Harvey H W. The chemistry and fertility of sea water. Cambridge: D.L.J., 1957
- 13 Ketchum B H, et al. The annual cycle of phosphorus and nitrogen in New England coastal waters. J Mar Res, 1958(17): 282~301
- 14 Leendertse J J. A water - quality simulation model for well - mixed estuaries and coastal seas. Principle of computations, The Rand corporation, RM- 6230 - RC. 1970, 1
- 15 Ryther J H, C H, Yentsch. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. Limnol and Oceanogr, 1957, 2(3): 281~286
- 16 Zhu S P. Experimental studies on the environmental factors in fluencing the growth of phytoplankton. Cont Fish Res Inst Dept. Shantung: Fish Nat Univ, 1949, 1: 37~52

Environmental features of cultural waters in Sanggou Bay

Sun Yao Zhao Jun Zhou Shilai Song Yunli Cui Yi Chen Jufa
Fang Jianguang Sun Huiling Kuang Shihuan

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract The water environmental features in Sanggou Bay are discussed and compared with data obtained 10 years ago. The vertical distribution of determined chemical and biological indices in the waters is well - distributed. Being affected by unlimitedly increasing aquaculture, the water dynamic condition has changed obviously in comparison with that of 10 years ago. Carrying capacity and self - purification of sea water decreases. The horizontal distribution and seasonal changes of chemical indices, nutritive situation and types, primary productivity differ greatly from those of 10 years ago. IN contents and IN/IP value are lower during kelp cultivation. Their seasonal changes are restricted by primary productivity. So, IN has become a limiting factor to the primary productivity. Aquaculture has also accelerated the circle rate of IN in the waters.

Key words Sanggou Bay, culture waters, environmental feature, characteristic