

# 胶州湾浮游植物与无机环境的相关研究\*

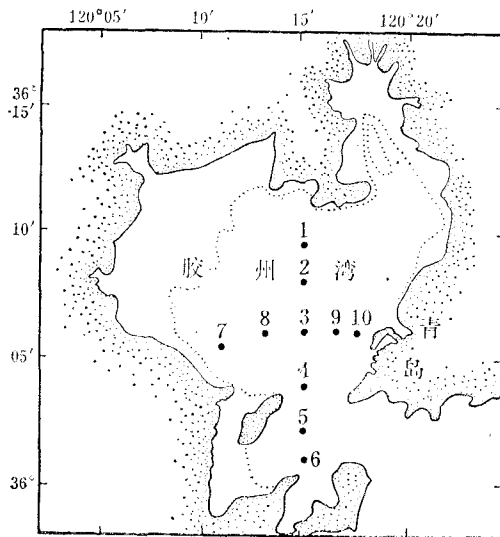
刁 焕 祥

(中国科学院海洋研究所)

为科学地开发利用胶州湾水产资源, 1962年我们所就开始进行了该水域磷、氮素的调查研究<sup>[2]</sup>。1980年6月我所又继续进行了各学科周年逐月综合考查。作者曾从生物环境科学角度对该水域无机环境作了评价<sup>1)</sup>。本文主要根据1980—1981年逐月调查资料, 从统计学观点讨论浮游植物总量与无机参数量值的相关性。初步定量地认为, 水温较低时浮游植物出现繁殖高峰; 总无机氮、无机磷酸盐与浮游植物呈正相关关系; 浮游动物与溶解有机氮在一定区间内呈曲线正相关; 盐定、溶解氧及酸碱度不是浮游植物的限制因子。

## 一、统计学相关分析

胶州湾水域无机环境要素均取10个典型站(见下图)逐月调查表、底层平均值, 浮游生物引用相应站垂直拖网资料。各参数的代号和单位如下: PTP为浮游植物(万个细胞/ $m^3$ ); ZPT为浮游动物( $mg/m^3$ );  $t$ 为水温( $^{\circ}C$ );



胶州湾典型站位图

S为盐度(‰);  $O_2$ 为溶解氧绝对含量( $ml/L$ );  $O_2'$ 为溶解氧相对含量(%);  $PO_4-P$ 为磷酸盐( $mg-P/m^3$ );  $NO_3-N$ 为硝酸盐、 $NO_2-N$ 为亚硝酸盐、 $NH_4-N$ 为氨氮、 $\Sigma N$ 为总无机氮、DON为溶解有机氮( $mg-N/m^3$ )。为叙述简练, 以下均省略参数单位。

通过诸无机环境参数与浮游植物量值散点图(此略)分析看出, PTP与 $t$ 、 $PO_4-P$ 、 $\Sigma N$ 、pH, ZPT与DON呈统计学相关; PTP与S、 $O_2$ 、 $O_2'$ 、 $NO_3-N$ 、 $NO_2-N$ 、 $NH_4-N$ 相关系数很小。利用统计学方法<sup>[3]</sup>, 设定各参数在水体中呈均一分布, 对统计学显著相关者推究了函数关系。文中公式推导与演算略去, 只列出回归方程。

### 1. PTP与 $t$ 的相关

取较低温季节(12—4月)PTP与 $t$  8组对应数据。设 $y = PTP$ ,  $x = t$ , 它们有 $y = f(x)$ 关系。通过计算其直线回归方程为:

$$y = 1865.49 - 190.417x, \quad (1)$$

相关系数 $r = -0.924$ 。相关系数和回归效率检查:  $N-2 = 6$ ,  $\alpha = 0.01$ ,  $r_{\alpha} = 0.834$ 。表1列出了式(1)的检验结果。

表1指出, 在 $2.5-8.9^{\circ}C$ 水温区间, PTP与 $t$ 关系极为密切; 由 $r$ 看出它们呈负相关关系。经验式计算值与观测值的相对偏差大都在 $\pm 40\%$ 以内, 水温偏高时( $>8.5^{\circ}C$ )偏差较大。这说明胶州湾在水温较低季节浮游植物(主要是硅藻)稳定地出现繁殖高峰。水温较高季节

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第998号。

本文蒙顾宏堪、郭玉洁副研究员指导; 浮游生物组热情提供资料, 均此致谢。

1) 刁焕祥, 1983。胶州湾水域生物理化环境的评价。海洋湖沼通报。(待刊)

表1 PTP、t关系式检验

| 序号       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t        | 2.51 | 3.59 | 4.52 | 4.80 | 6.60 | 7.49 | 8.04 | 8.89 |
| PTP      | 1445 | 1160 | 1056 | 680  | 940  | 300  | 420  | 80   |
| PTP      | 1388 | 1182 | 1005 | 951  | 609  | 439  | 335  | 173  |
| 计算值      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 相对偏差 (%) | -4   | +2   | -5   | +40  | -35  | +46  | -20  | +116 |

(5—11月) PTP与t没有统计学相关, 但有PTP低、t高的定性趋势, 说明控制浮游植物的参数较多, 水温是重要影响因素之一。

### 2. PTP与PO<sub>4</sub>-P的相关

取周年逐月观测资料, 将PO<sub>4</sub>-P变为对数形式, 与PTP大致呈直线相关。设y = PTP, x = PO<sub>4</sub>-P, 则一元直线回归表达式为:

$$y = 3770.95 \log x - 4261.5. \quad (2)$$

相关系数 r = 0.993, N-2 = 6, α = 0.01, r<sub>α</sub> = 0.834。

表2及r值指出, PTP与PO<sub>4</sub>-P为正相关。磷酸盐低含量 (<14mg-P/m<sup>3</sup>) 时表达式相对偏差 (-40%) 较大, 这可能是浮游植物体内贮存其正常需要量30倍的无机磷<sup>[4]</sup>、在水

表2 PTP、PO<sub>4</sub>-P关系式检验

| 序号                 | 1   | 2   | 3   | 4    | 5   | 6    | 7    | 8    |
|--------------------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|
| PO <sub>4</sub> -P | 14  | 17  | 19  | 20.5 | 23  | 25   | 26   | 28   |
| PTP                | 101 | 330 | 500 | 700  | 940 | 1000 | 1105 | 1160 |
| PTP                | 61  | 378 | 561 | 683  | 874 | 1010 | 1074 | 1196 |
| 计算值                |     |     |     |      |     |      |      |      |
| 相对偏差 (%)           | -40 | +15 | +12 | -2   | -7  | +1   | -3   | +3   |

中缺少磷时用以补充, 使PTP总量尚能维持一定程度的结果。17—28mg-P/m<sup>3</sup>区间相对偏差较小 (在±15%以内)。相关系数很大, 接近完全相关。因而回归表达式 (2) 代表性较强, 说明磷酸盐确系浮游植物的主要影响因素。表2指出PO<sub>4</sub>-P在14—20mg-P/m<sup>3</sup>区间, PTP总量增加迅速。这与渤海1959年现场资料统计分析基本上一致<sup>1)</sup>, 20mg-P/m<sup>3</sup>PO<sub>4</sub>-P

是浮游植物最适浓度的下限。郭玉洁把渤海20mg-P/m<sup>3</sup>称为浮游植物繁殖高峰的阈值。

### 3. PTP与ΣN的相关

部分月份 (2, 3, 7, 8, 11月) 的ΣN与PTP呈线性相关。设y = PTP, x = ΣN, 其统计相关表达式为:

$$y = 55.3974x - 2911.99. \quad (3)$$

相关系数 r = 0.888。方程检验: N-2 = 3, α = 0.05, r<sub>α</sub> = 0.878。

表3及r值说明PTP与ΣN为正相关。r > r<sub>α</sub>, 有95%的把握说公式 (3) 有效。7, 8月ΣN量明显较低, PTP理论值比实测值高出8—17倍, 间接说明ΣN只是PTP的影响因素之一。水温太高 (23.0, 25.7°C)、磷酸盐含量很低 (7, 8月两年平均值分别仅为7.4及9.8mg-P/m<sup>3</sup>), 可能是该区间的决定性影响因素。2, 3及11月PTP观测值与经验式理论值相对偏差还较小 (<±29%)。

### 4. PTP与pH的关系

调查年度中酸碱度观测数据较少, 只能取用季度代表月资料, 设y = pH, x = PTP, 其回归表达式为:

$$y = 8.15972 + 0.000071587x. \quad (4)$$

相关系数 r = 0.965。相关效率检验: N-2 = 2, α = 0.05, r<sub>α</sub> = 0.950。

表3 PTP与ΣN相关检验

| 月份       | 7     | 8    | 3   | 2    | 11   |
|----------|-------|------|-----|------|------|
| 序号       | 1     | 2    | 3   | 4    | 5    |
| ΣN       | 50    | 59   | 66  | 71   | 76   |
| PTP      | 8     | 40   | 680 | 1445 | 1105 |
| PTP计算值   | 142   | 354  | 744 | 1021 | 1298 |
| 相对偏差 (%) | +1675 | +785 | +9  | -29  | -18  |

表4及r值指出PTP与pH为正相关。根据地球化学与生态学知识判断, 该水域浮游植物光合作用吸收CO<sub>2</sub>, 明显使pH值升高。回归

1) 刁焕祥, 1983. 渤海浮游植物与无机环境关系的初步研究。

表4 PTP、pH关系式检验

| 序号      | 1    | 2    | 3    | 4    |
|---------|------|------|------|------|
| 月份      | 5    | 8    | 11   | 2    |
| PTP     | 80   | 40   | 1105 | 1445 |
| pH      | 8.16 | 8.17 | 8.23 | 8.27 |
| pH计算值   | 8.17 | 8.16 | 8.24 | 8.26 |
| 相对偏差(%) | +0.1 | -0.1 | +0.1 | -0.1 |

方程因变量理论值与观测值偏差很小 (<±1%), 表达式可靠性亦大。看来酸碱度并非浮游植物的限制因子, 而PTP却是pH的影响因素。

### 5. ZPT与DON的相关

海水中溶解有机氮与海洋生物的关系相当密切, 生物尸体是有机氮的主要来源。低等生物生命史短暂, 一面繁殖一面死亡, 繁殖多死亡亦多, 因此活体生物量的变化大致可以反映其尸体量变化趋势。这里选用了代表性较大的浮游动物活体重量与溶解有机氮含量<sup>[2]</sup>两个参数, 统计讨论其相关性。设  $y = ZPT$ ,  $x = DON$ , 其统计相关表达式为:

$\log y = 2.437581 \log x - 4.203143$ . (5)  
 相关系数  $r = 0.975$ 。相关系数和回归方程效率检验:  $N-2 = 3$ ,  $\alpha = 0.01$ ,  $r_\alpha = 0.959$ 。

表5及相关系数指出, 浮游动物活体重量大致可以表征海洋生物总尸体量的统计学变化趋势, 与溶解有机氮含量呈正相关曲线关系,

表5 ZPT、DON相关表达式检验

| 序号      | 1   | 2   | 3   | 4    | 5    |
|---------|-----|-----|-----|------|------|
| DON     | 500 | 600 | 700 | 800  | 960  |
| ZPT观测值  | 280 | 300 | 525 | 750  | 1250 |
| ZPT计算值  | 238 | 371 | 540 | 747  | 1165 |
| 相对偏差(%) | -15 | +24 | +3  | -0.4 | -7   |

并且ZPT观测值与回归经验式计算值相对偏差亦较小, 均在±24%以内。但应指出, 上述两个参数并非同年度观测, 所以只能粗略地统计相关变化趋势。

浮游植物与各种环境的关系是错综复杂

的, 有的是生活环境, 有的是限制因子, 有的没有统计学相关, 有的呈各种形式的线性相关。表6列出了胶州湾10个典型站浮游植物总量与各种无机环境因素量值的范围。

1980年9月胶州湾浮游植物总量非常大, 达2690万个细胞/ $m^3$ ; 此间水温为23.57°C, 盐度是30.93‰, 磷酸盐是16mg-P/ $m^3$ 。看来PTP属于个别值, 不符合上述统计规律, 这可

表6 浮游植物与环境参数量值范围

| 类别                 | 量值范围      |           |
|--------------------|-----------|-----------|
| PTP                | 600—1445  | 5—2690    |
| t                  | 2.5—12.5  | 2.5—25.8  |
| S                  | 31.5—32.2 | 30.6—32.2 |
| O <sub>2</sub>     | 6.0—7.7   | 4.4—7.8   |
| O <sub>2</sub> '   | 99.7—101  | 93.0—101  |
| pH                 | 8.23—8.27 | 8.16—8.27 |
| NH <sub>4</sub> -N | 42—56     | 36—56     |
| NO <sub>2</sub> -N | 1.4—6.7   | 1.2—6.7   |
| NO <sub>3</sub> -N | 19—22     | 4—22      |
| ΣN                 | 65—76     | 44—76     |
| PO <sub>4</sub> -P | 17—28     | 6.8—28    |

能是浮游植物种类繁多、优势种交替并常呈块状分布<sup>[4]</sup>等原因所致。

表6指出, 当浮游植物繁殖高峰季节(总量大于600万个细胞/ $m^3$ ), 盐度、溶解氧绝对及相对含量、酸碱度、氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、总无机氮及磷酸盐均处于高量值区间。其中前四种无机环境参数并非浮游植物的限制因素, 其量值偏高主要是由于水文气候学因素(pH, O<sub>2</sub>'与PTP有关)影响所造成的。水温较低时浮游植物进入“春花”期, 温度与其它参数相反, 与浮游植物总量呈负相关。综合分析认为, 水温、磷酸盐及无机氮是浮游植物的主要影响因素。这与朱树屏(1949)室内生物培养实验指出的, 海洋浮游植物对无机磷、氮要求最适浓度下限分别为18mg-P/ $m^3$ 、80mg-N/ $m^3$ <sup>[1,5]</sup>, Harvey(1933)指出其中限浓度是50mg-P/ $m^3$ <sup>[6]</sup>, 基本上是符合的。前人研究指出, 溶解有机氮<sup>[4]</sup>、某些形态的溶解

有机磷<sup>[7]</sup>也能被浮游植物利用。作者研究认为,溶解态的有机磷、氮只能作为无机态磷、氮不足时的补充营养,经验式(5)指出,溶解有机氮量值大时,浮游植物并未出现繁殖高峰,其变化趋势主要与浮游动物量相一致。浮游植物大量繁殖后,因出现其尸体却导致溶解有机氮量增高。

## 二、讨论与结论

1. 胶州湾磷酸盐、总无机氮和水温是浮游植物的主要影响因子,并有一定的统计学相关性。pH与浮游植物、溶解有机氮与浮游动物有线性关系;盐度、溶解氧(O<sub>2</sub>)的变化主要受气候水文学因素影响,与浮游植物总量没有统计学相关;pH值主要为PTP光合作用所影响,因此它们均不是浮游植物的限制环境因子。

2. 分布在我国近岸海域的浮游植物常常是广温性群落,适温范围随种类而异<sup>[4]</sup>。作者初步研究指出,渤海<sup>[1]</sup>、胶州湾全水域浮游植物繁殖高峰出现于2—9℃的水温区间,这是因为此间主要是喜较低温的硅藻繁殖,而它们在浮游植物总量统计中占相当大的比重所致。

3. 胶州湾水域磷酸盐、总无机氮含量分别在20mg-P/m<sup>3</sup>及70mg-N/m<sup>3</sup>以上时,稳定出现浮游植物繁殖高峰(>600万个细胞/m<sup>3</sup>)。

大致与室内生物培养实验其最适浓度下限18mg-P/m<sup>3</sup>及80mg-N/m<sup>3</sup>的结果<sup>[1,5]</sup>,基本上是符合的。

## 参 考 文 献

- [1] 上海水产学院、山东海洋学院编,1961。水生生物学。农业出版社,第101页。
- [2] 中国科学院海洋研究所水化学研究组,1982。胶州湾海水中氮的地球化学。海洋湖沼通报 3:8—17, 4:37—43。
- [3] 林纪曾编,1981。观测数据的数学处理。地震出版社,39—53, 104—133页。
- [4] 厦门水产学院主编,1981。海洋浮游生物学。农业出版社,194—196页。
- [5] Chu, S. P., 1949. Experimental studies on the environmental factors influencing the growth of phytoplankton. *Cont. Fisn. Res. Inst. Dept. Fish. Nat. Univ. Shantung* 1: 37—52.
- [6] Harvey, H. W., 1933. On the rate of diatom growth. *J. Mar. Biol. Ass.* 19:253—276.
- [7] ИИ-ТУТ Океан. АН СССР, 1966. Химия. Тихий Океан. Изд. Наука, Москва. стр. 116—118.

- 1) 刁焕祥,1983。渤海浮游植物与无机环境关系的研究。(待刊)

## A RELATIVE STUDY ON THE RELATION BETWEEN PHYTOPLANKTON AND INORGANIC ENVIRONMENT IN JIAOZHOU BAY

Diao Huanxiang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

### Abstract

The total relation between phytoplankton and physical-chemical environment in Jiaozhou Bay is discussed statistically. There are no effects of salinity and pH on phytoplankton found by the author. The temperature, phosphate and total inorganic nitrogen are the main factors affecting phytoplankton breeding. The relation between phosphate, total inorganic nitrogen and phytoplankton amounts appears to be positive relativity. The phytoplankton bloom occurs at 2.5—9℃, >20mg-P/m<sup>3</sup> and >70mg-N/m<sup>3</sup>.