

渤海无机氮的分布*

刁焕祥 沈志良 刘兴俊 陆家平

(中国科学院海洋研究所)

各种无机氮是浮游植物的基本营养物质,其含量多寡直接影响着海洋初级生产者的数量。在天然海水中,氮含量一般较低,因而在一定程度上它们常是浮游植物的限制因素之一^[5,8]。

渤海水产资源丰富,是我国重要渔场之一,因此对其生原要素的研究实属必要。为配合该水域水产生产农牧化的研究,本文根据多年(1959, 1960, 1983)的资料,通过讨论无机氮含量分布、百分组成及 N/P 比值的变化特征,对该水域氮素生物环境作了评价。

一、氮素的分布变化

本文文图中诸参数的符号如下:硝酸盐—— $\text{NO}_3\text{-N}$, 亚硝酸盐—— $\text{NO}_2\text{-N}$, 氨氮——

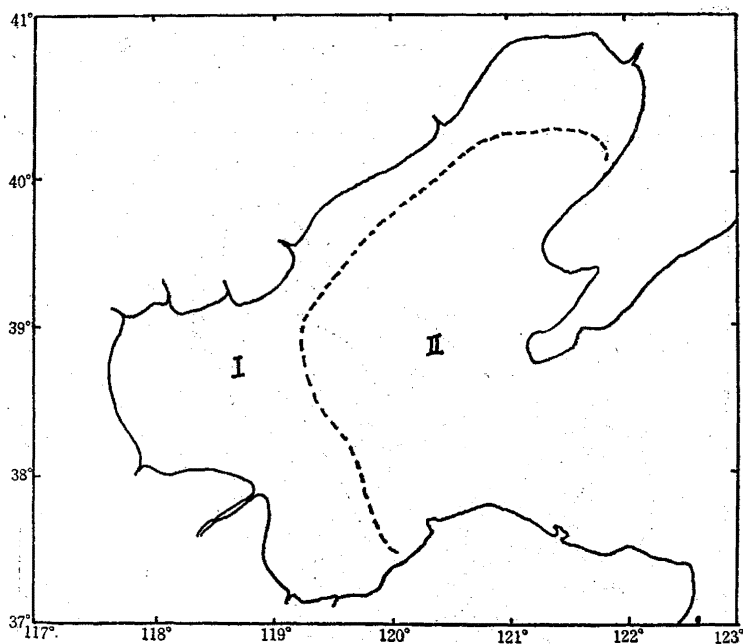


图 1 氮素研究分区图

I 为沿岸海区; II 为中央海区

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1009 号。
本文蒙林庆礼、郭玉洁及顾宏堪同志指导帮助,谨致谢忱。
收稿日期: 1983 年 8 月 9 日。

$\text{NH}_4\text{-N}$, 总无机氮—— ΣN , 磷酸盐—— $\text{PO}_4\text{-P}$; 硝酸盐的氮磷原子比—— $\text{NO}_3\text{-N/P}$; 总无机氮的氮磷原子比—— $\Sigma\text{N-N/P}$; 浮游植物—— PTP ; 浮游动物—— ZPT 。理化参数

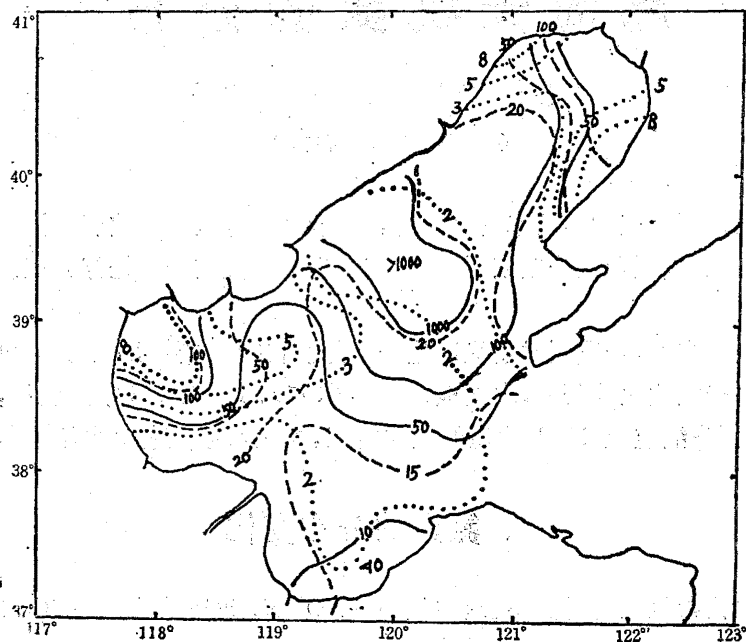


图 2a 4 月 ΣN , $\Sigma\text{N-N/P}$ 与 PTP 水平分布
—— PTP ($\times 10^4$ 个细胞/ m^3); ---- ΣN (mg/m^3); $\Sigma\text{N-N/P}$

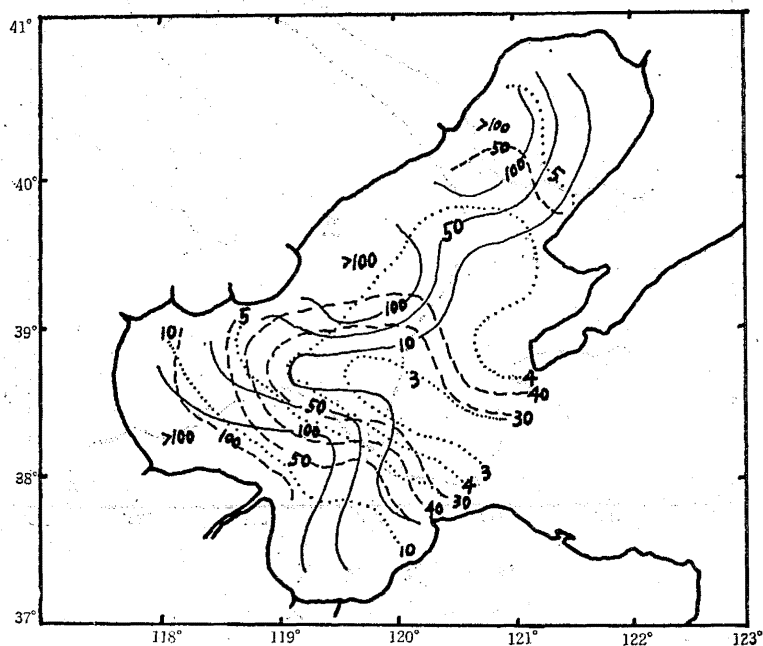


图 2b 5 月 ΣN , $\Sigma\text{N-N/P}$ 与 PTP 水平分布
(图注同图 2a)

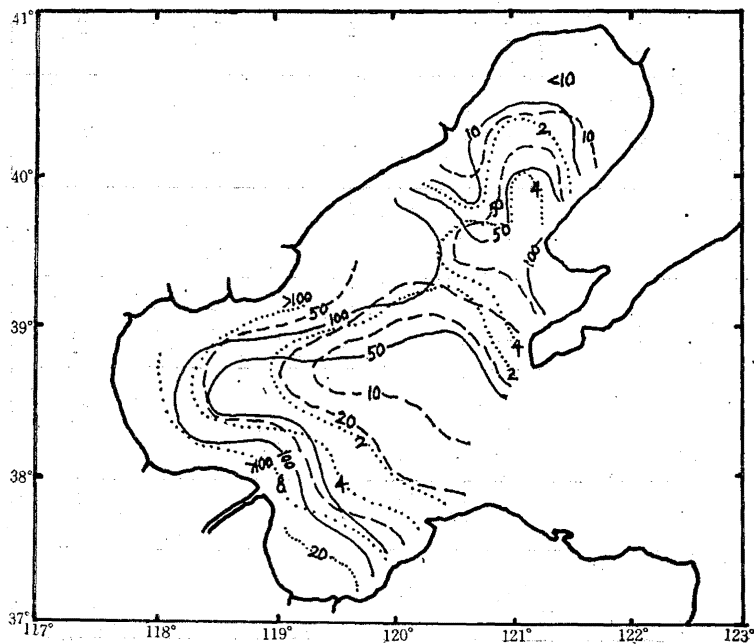


图 2c 8 月 ΣN , $\Sigma N-N/P$ 与 PTP 水平分布
(图注同图 2a)

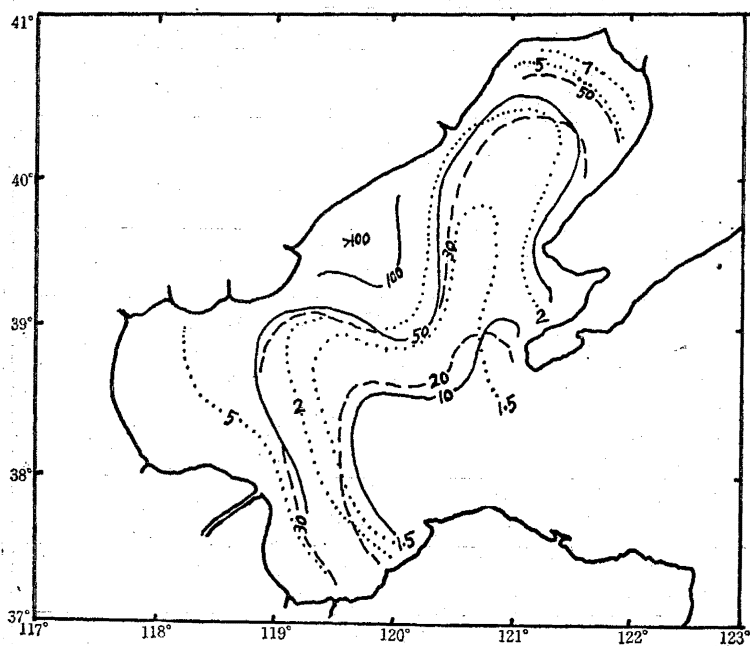


图 2d 11 月 ΣN , $\Sigma N-N/P$ 与 PTP 水平分布
(图注同图 2a)

取表、底层平均值,浮游生物沿用自水底至水表面垂直拖网样品平均生物量。渤海氮素研究分区列于图 1 中。

表 1 渤海 ΣN , $\Sigma N-N/P$ 及 PTP 分布特征

月份	莱州湾			黄河口			渤海湾			西海岸			辽东湾			渤海中央		
	ΣN	$\Sigma N-N/P$	PTP	ΣN	$\Sigma N-N/P$	PTP	ΣN	$\Sigma N-N/P$	PTP	ΣN	$\Sigma N-N/P$	PTP	ΣN	$\Sigma N-N/P$	PTP	ΣN	$\Sigma N-N/P$	PTP
4	<15	<2	<15	15—20	<2	20—40	100	8	100	20	2	1000	50	3	100	20	2	1000
							50	3—5	50	20	3	100	100	5	50	18	2	100
										20	3	50	100			16	2	50
5	<50	10	10—60	50	10	100	100	10	100	40	4	100	50	5	10—100	25—40	2.5—3.5	<10
				40	5	50	50	5	50	30	3.5	50						
8	60	8	100	60	7	100	60	7	100				<50	<4	<50	<20	<2	<50
	40	6	50	40	4—5	50				30—50	2—4	50—100						
11	30	5	50	25—30	2—5	30—50				>35	>2.5	100	>30	>2.5	>50	<25	<1.5	<40
	15	1.5	10					3—5	>50	30	2	50						

注: 表中量值单位 ΣN : mg/m^3 ; PTP: $\times 10^4$ 个细胞/ m^3 。

1. 总无机氮、总无机氮氮磷原子比及浮游植物水平分布

选用 4, 5, 8, 11 月为春、夏、秋的季节代表月, 其水平分布见图 2a—d。

根据图 2 将渤海 ΣN , N/P 及 PTP 的水平分布特征列于表 1 中。

由图 2a—d 及表 1 看出, 5, 8, 11 月份浮游植物总量大致是河口及沿岸水域高, 而向中央及海峡水域递减, 总无机氮及其氮磷原子比分布趋势基本上与之相似。4 月除大部分水域保持上述分布特点外, 西部水域浮游植物大量繁殖, 数量达到 1000×10^4 个细胞/ m^3 以上, 并向渤海中央区扩展; 该水域至辽东湾海区, ΣN 及其 N/P 与 PTP 的水平分布基本上呈相反趋势, 这可能是浮游植物的大量消耗所致。

2. 氮素的时间变化

(1) 沿岸水域: 图 3a 表明, PTP 在 2—4 月出现繁殖高峰, 总量为 $(280—360) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 , ΣN 为 $50—100 \text{ mg}/m^3$; 8, 9 月为次高峰, PTP 为 $(130—210) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 , ΣN 为 $45—50 \text{ mg}/m^3$; 其它月份 PTP 均低, 为 $(25—75) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 , ΣN 在 5—7 月为 $25—33 \text{ mg}/m^3$, 10—翌年 1 月为 $70 \text{ mg}/m^3$ 左右。2—9 月 ΣN 与 PTP 的季节变化趋势大致相似。该图表明, 1—5 月 PO_4-P 含量较高, 为 $34—41 \text{ mg}/m^3$, 6 月降至 $15 \text{ mg}/m^3$, 7 月升至 $24 \text{ mg}/m^3$, 9 月下降为 $18 \text{ mg}/m^3$, 而后回升, 11 月达到 $30 \text{ mg}/m^3$ 。

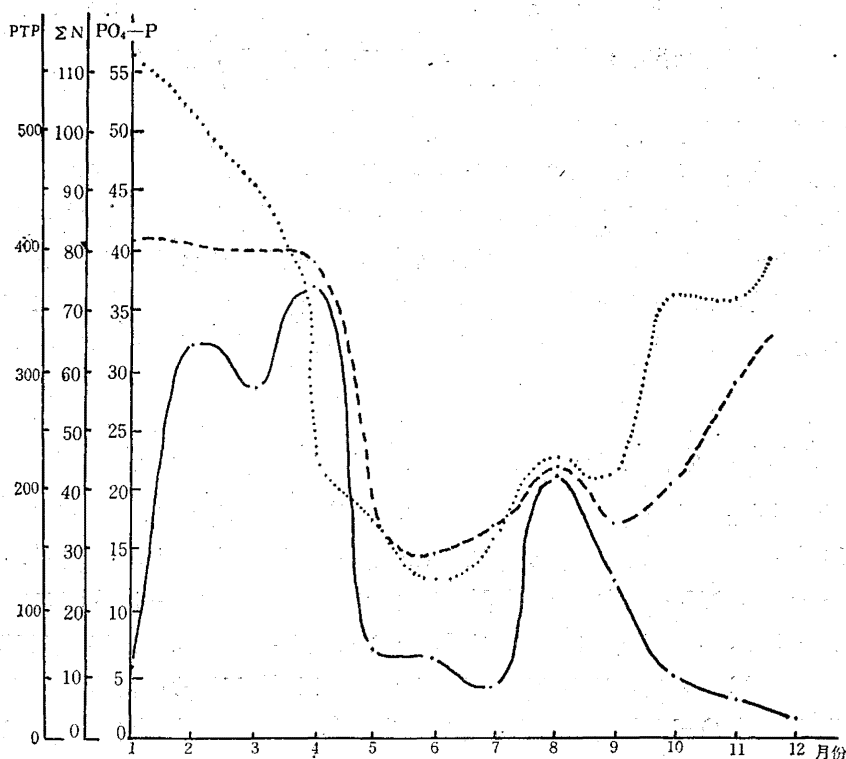


图 3a 渤海沿岸水域 PO_4-P , ΣN 及 PTP 季节变化

注: — PTP ($\times 10^4$ 个细胞/ m^3); ---- PO_4-P (mg/m^3); ΣN (mg/m^3)

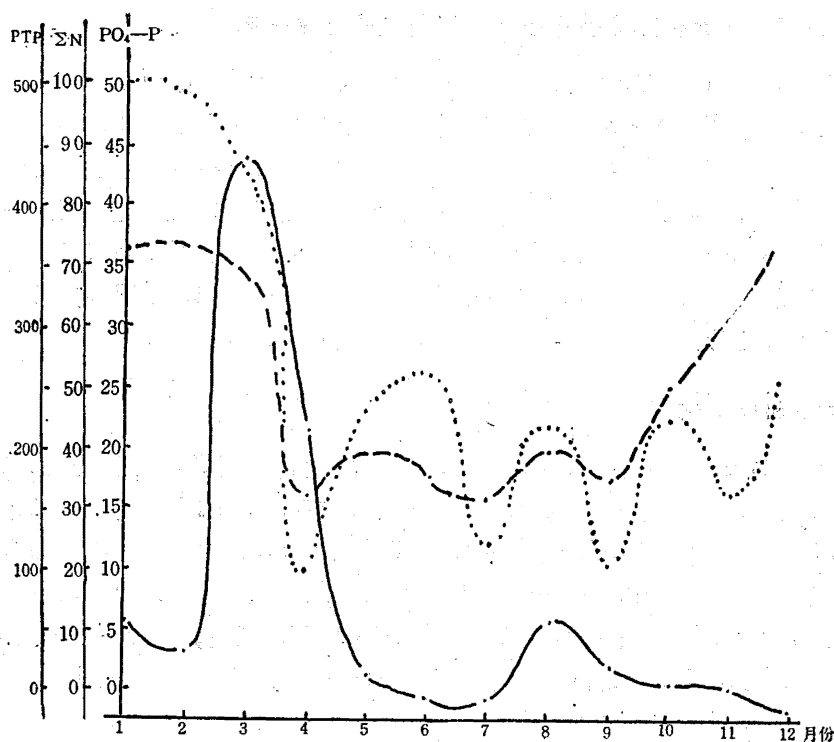


图 3b 渤海中央水域 $\text{PO}_4\text{-P}$, ΣN 及 PTP 季节变化 (图注同图 3a)

2—9 月磷酸盐变化总趋势亦与浮游植物相似。

(2) 中央水域: 图 3b 表明, 3—4 月是浮游植物繁殖高峰期, 其量值为 $(210-440) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 ; 8 月稍高, 为 60×10^4 个细胞/ m^3 ; 其它月份均低于 30×10^4 个细胞/ m^3 。1—3 月 ΣN 含量最高, 约在 $80\text{mg}/\text{m}^3$ 以上, 大致与 PTP 相应; 4—11 月 ΣN 呈蛇形波动状态, 变化范围为 $20-50\text{mg}/\text{m}^3$ 。磷酸盐在冬初至仲春的含量较丰富 ($>30\text{mg}/\text{m}^3$), 春末、夏季波动下降 ($15-20\text{mg}/\text{m}^3$), 大致与浮游植物季节变化趋势相似; 秋后复升至 25 以上。

3. 各种无机氮百分含量的季节变化

(1) 沿岸水域: 图 4a 表明, 浮游动物在 3—6 月出现繁殖高峰, 量值为 $140-220\text{mg}/\text{m}^3$; 10—11 月是次高峰季节, 量值为 $120-130\text{mg}/\text{m}^3$; 其它月份生物量较低, 为 $80-110\text{mg}/\text{m}^3$ 。1—5 月, $\text{NO}_3\text{-N}$ 占 ΣN 的百分比数较大, 大致为 $48-61\%$; $\text{NH}_4\text{-N}$ 相应较低, 约为 $35-48\%$ 。6 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 仅为 6% , 而 $\text{NH}_4\text{-N}$ 是 90% 。8—10 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 百分含量变化范围为 $22-25\%$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 是 $71-74\%$ 。11 月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 回升为 40% , $\text{NH}_4\text{-N}$ 相应降至 56% 。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 百分含量终年较前二者低, 变化范围约为 $2-4\%$ 。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 百分含量变化曲线大致与 ZPT 相似, 这可能与浮游生物尸体分解及浮游动物直接排泄有关^[1]。

(2) 中央水域: 图 4b 表明, 5—6 月为 ZPT 繁殖高峰期, 生物量达到 $170-190\text{mg}/$

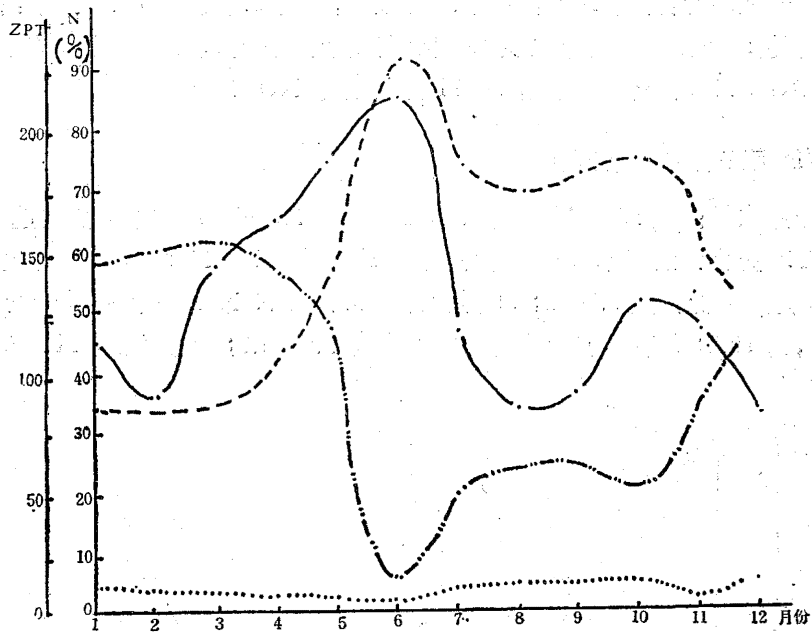


图 4a 渤海沿岸水域各种无机氮百分含量和 ZPT 的季节变化
 ——ZPT (mg/m³); ----NH₄-N; -·-·-·-NO₃-N; ·····NO₂-N

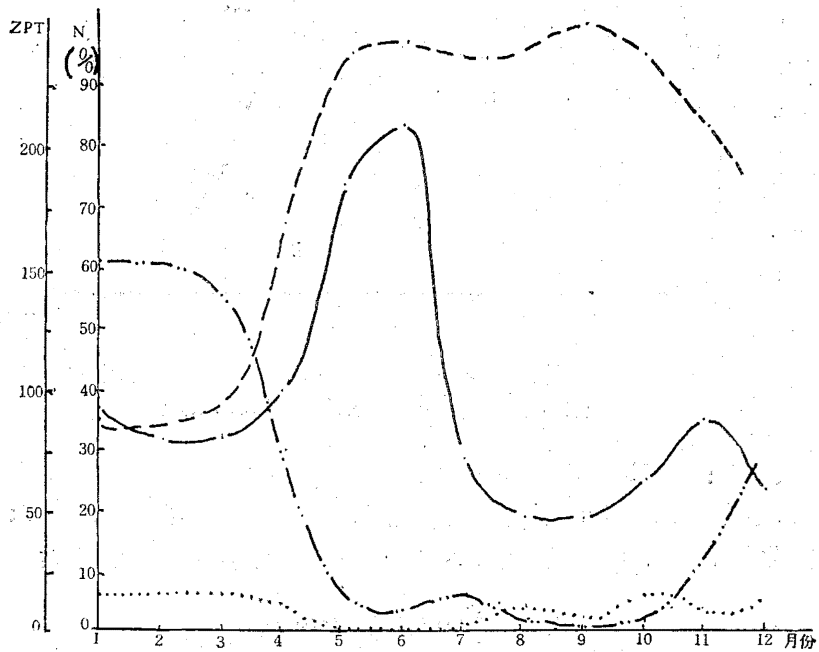


图 4b 渤海中央水域各种无机氮百分含量和 ZPT 的季节变化 (图注同图 4a)

m³; 8, 9 月量最低, 为 60mg/m³; 11 月是次高峰, 为 100mg/m³; 7, 10 月生物量较低, 是 70—77mg/m³。1—4 月 NO₃-N 百分含量较高, 变化范围为 30—61%, NH₄-N 为 34—66%; 5—10 月 NO₃-N 含量低, 约为 0.1—5%, NH₄-N 量很大, 约为 94—98%; 11

月 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量回升, 约为 14%, $\text{NH}_4\text{-N}$ 仍较高, 约为 82%。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 含量终年很低, 其百分含量约为 1—5%。与沿岸水域不尽相同, 中央海区浮游动物生物量季节变化曲线仅 1—6 月与 $\text{NH}_4\text{-N}$ 百分含量相似, 7—11 月大致与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 相应。

4. N/P 原子比的季节变化

(1) 沿岸水域: 图 5a 表明, 全年 $\Sigma\text{N-N/P}$ 与 $\text{NO}_3\text{-N/P}$ 的季节变化趋势大致相似, 2—9 月 PTP 变化曲线基本上与其相呼应。1—4 月 $\text{NO}_3\text{-N/P}$ 较高, 变化范围为 2—5.8; 5—10 月量值低, 是 0.3—2; 11 月回升为 3.8。 $\Sigma\text{N-N/P}$ 普遍较前者为大, 冬季 (1 月) 量值高, 为 10.2; 入春后明显降低, 4—9 月为 3.5—4.8; 之后回升, 11 月达到 16。

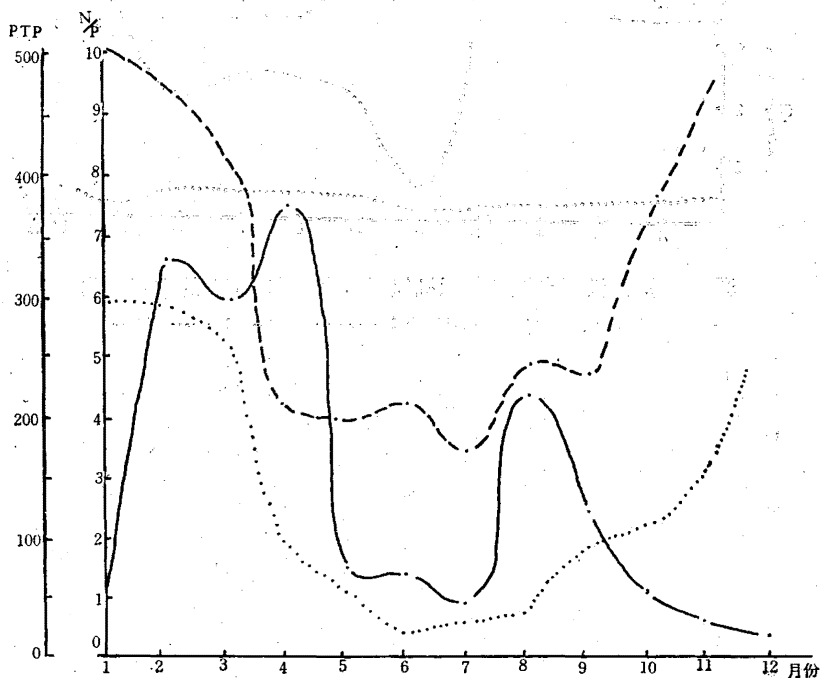


图 5a 渤海沿岸水域 $\Sigma\text{N-N/P}$, $\text{NO}_3\text{-N/P}$, PTP 季节变化
——PTP ($\times 10^4$ 个细胞/ m^3); ---- $\Sigma\text{N-N/P}$; $\text{NO}_3\text{-N/P}$

(2) 中央水域: 图 5b 表明, 中央水域 N/P 与 PTP 的季节变化趋势大致与沿岸水域相似, 但 5 月以后 $\Sigma\text{N-N/P}$ 呈现波动变化。冬季 (1 月) $\text{NO}_3\text{-N/P}$ 为 7; 4—11 月其比值很低, 变化范围为 0.01—0.7。而 $\Sigma\text{N-N/P}$ 冬季 (1 月) 较高, 是 11.6; 4—11 月波动

表 2 渤海水域夏、冬季的 N/P

水 域	沿 岸		中 央	
	$\text{NO}_3\text{-N/P}$	$\Sigma\text{N-N/P}$	$\text{NO}_3\text{-N/P}$	$\Sigma\text{N-N/P}$
夏 季	0.8	3.5	0.2	5.8
冬 季	5.8	10.8	7	11.6

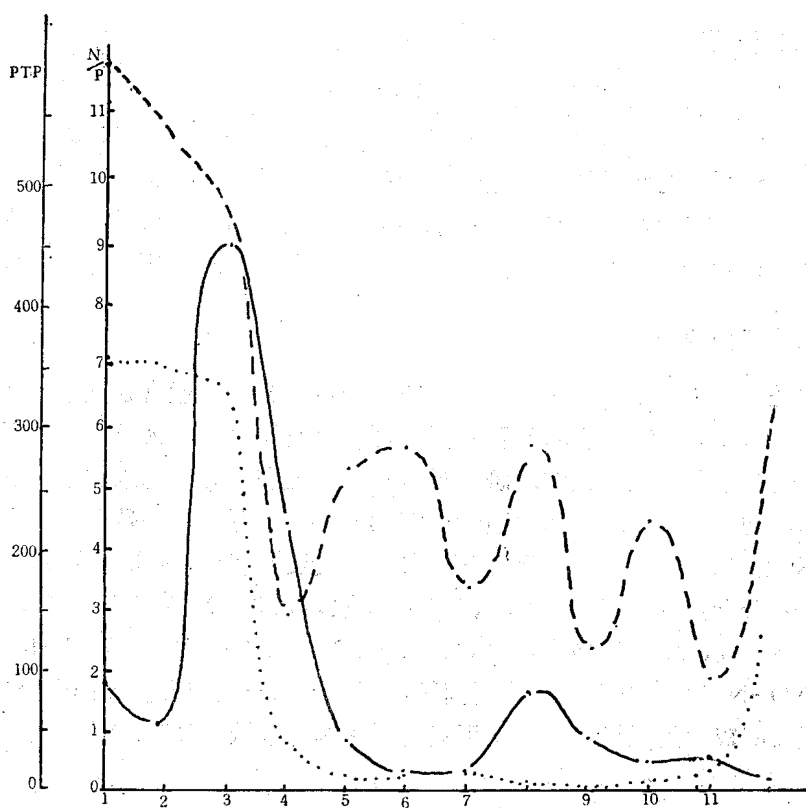


图 5b 渤海中央水域 $\Sigma N-N/P$, NO_3-N/P , PTP 季节变化 (图注同图 5a)

下降,变化范围为 2—5.6。

由上述可知,在浮游植物繁殖高峰季节 N/P 量高; N/P 呈现冬季高、夏季低的趋势,其大致量值列于表 2。

二、讨 论

1. 无机氮的水平分布

渤海沿岸及河口水域无机氮含量高,中央至海峡水域量值明显降低。浮游植物总量水平分布趋势大致与其相应。该水域大陆径流量较大,并汇集工业排污及农田化肥流失物质一并入海。截止 1958 年 15 年的统计,流入渤海的主要河流黄河、海河、辽河的年平均径流量分别为 526, 154, 118 亿立方米。看来径流输入是河口及沿岸水域氮素量较高的主要原因^[3]。

总无机氮与浮游植物的水平分布在多数月份呈一致趋势。在 5, 8, 11 月,当 ΣN 分别为 50, 30—40, 25—35 mg/m^3 时, PTP 则相应为 100, 50, $(10-40) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 。4 月大部分海区亦保持上述分布趋势;而西岸至辽东湾(包括中央一部分)水域,由于浮游植物高密度繁殖,则出现相反分布现象。因此,该水域总无机氮对浮游植物有明显影响。

2. 无机氮的时间变化

冬末至仲春季节为渤海浮游植物的“春花期”, PTP 量值很大, 大致为 $(150-370) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 ; ΣN 含量亦高, 约为 $45-115 \text{ mg}/m^3$ 。春末至秋初 ΣN 量值较低, 约在 $45 \text{ mg}/m^3$ 以下, 8, 9 月为浮游植物次高峰, PTP 为 $(50-200) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 。秋末至仲冬季节, ΣN 含量较大, 但 PTP 量相对较低; 说明生物固有繁殖季节, 氮素仅是其影响因素之一, 同时冬季无机营养盐再生积累是温带海区的一般规律^[7]。

3. 无机氮的百分组成

生物尸体是海水中无机氮的来源之一, Von Brand 指出^[9], 通常氨化过程在 8—12 天内完成, 此间约有 20—25% 的氮仍留在生物残骸中; 而从浮游生物尸体分解到最终转化为 $\text{NO}_3\text{-N}$ 约需 3 个月时间。顾宏堪研究指出^[2-4], 中国黄海、东海水域中无机氮的转化程度是不高的, $\text{NO}_3\text{-N}$ 与 $\text{NH}_4\text{-N}$ 之比相当低; 即使在冬季, 特别是在沿岸生物大量繁殖区, $\text{NH}_4\text{-N}$ 占 ΣN 的三分之一至三分之二。本文资料表明, 渤海与黄海、东海相似, 冬季 $\text{NH}_4\text{-N}$ 百分含量亦相当大 (图 4a, b); 沿岸水域, $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 46—61%, $\text{NH}_4\text{-N}$ 为 35—50%; 中央水域, $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 30—61%, $\text{NH}_4\text{-N}$ 为 34—60%。当 $\text{NH}_4\text{-N}$ 还没有充分转化为 $\text{NO}_3\text{-N}$ 时, 即被浮游植物所消耗; 浮游动物异化作用直接排出 $\text{NH}_4\text{-N}$; 江河径流带进了浓度较大的无机氮。这些可能是冬季渤海水域中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量仍占一定比数、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 最大值不显著的原因。

4. 对渤海生物氮素环境的评价

朱树屏室内生物培养研究指出^[6], 海洋浮游植物对无机磷、氮最适浓度要求的下限分别为 18 和 $80 \text{ mg}/m^3$ 。图 3a, b 表明, 磷酸盐含量较总无机氮丰富, 2—9 月 ΣN 含量与 PTP 量值的季节变化趋势大致相似, 可见两者关系密切。冬季与春初 ΣN 为 $70-83 \text{ mg}/m^3$, 接近室内实验最适浓度下限; 夏季前后 ΣN 含量低, 约为 $20-30 \text{ mg}/m^3$ 。看来, 渤海水域磷酸盐尚较丰富, 而无机氮含量相对较低。自养生物对营养盐的利用是有一定量值比的, 当硝酸盐浓度较高时, 浮游植物吸收磷酸盐的量亦大^[5]。与黄海、东海相似^[1-4], 渤海水域的 N/P 也不高。由图 2, 3 看出, 当 N/P 是 6—10, 3—5, 1.5—3 时, PTP 相应为 100, 50, $(10-40) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 , 即多数月份及大部水域中浮游植物总量与氮磷比值大致呈正相关分布趋势。当然, 在研究 N/P 与 PTP 关系时还要结合氮磷含量分别进行讨论, 即磷酸盐含量在浮游植物要求适量范围内时, N/P 较高则有利于自养生物的生长繁殖。

无机氮是海洋浮游植物的基本营养物质之一^[8]。在渤海水域, 与磷酸盐相比, 无机氮含量较低, 对浮游植物生长有一定的影响。

参 考 文 献

- [1] 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 3:9—15。
- [2] 顾宏堪, 1976。海水中氮循环的热力学平衡问题。海洋科学集刊 11:5。

- [3] 顾宏堪等, 1982. 长江口附近海水中氮的地球化学. 山东海洋学院学报, 12(2): 31—36.
- [4] 顾宏堪、刘明星, 1976. 海水的热力学状态. 海洋科学集刊 11: 27.
- [5] 厦门水产学院主编, 1981. 海洋浮游生物学. 农业出版社, 第 195—196 页.
- [6] Chu, S. P., 1949. Experimental studies of the environmental factors influencing the growth of phytoplankton. *Cont. Fish. Res., Dept. Fish. Nat. Univ. Shantung* 1: 37—52.
- [7] Cooper, L. H. N., 1933. Chemical constituents of biological importance in the English Channel. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 18(2): 677—728.
- [8] Harvey, H. W., 1957. The chemistry and fertility of sea water. Cambridge University Press, 243 pp.
- [9] Von Brand, J. et al., 1937—1942. Decomposition and regeneration of nitrogenous organic matter in sea water. *Biol. Bull., Woods Hole*, 72: 165; 77: 285; 79: 231; 81: 63; 83: 273.

THE DISTRIBUTION OF INORGANIC NITROGEN IN THE BOHAI SEA*

Diao Huanxiang Shen Zhiliang Liu Xingjun and Lu Jiaping
(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

This research indicates that the trend of the distribution of inorganic nitrogen and N/P in the Bohai Sea are similar to that of the total phytoplankton in most months. The content of inorganic nitrogen in the coastal estuary waters is higher than that in the central region. The increment in ammonia-N content is relative to the activity of zooplankton. In winter, the maximum value of the nitrate-N/P is 7, and the transform of inorganic nitrogen is not sufficient. The content of inorganic nitrogen, which has certain effects on the reproduction of phytoplankton in this area, is lower than that of phosphate.

* Contribution No. 1009 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.