

北海半岛近岸水域无机氮的变化特征*

韦蔓新 何本茂 赖廷和

(广西红树林研究中心 北海 536000)

提要 根据 1988~1999 年 8 个航次对北海半岛水域的调查资料,从无机氮的分布特征及三态氮的百分组成着手,分析研究了该水域无机氮的变化规律。结果表明:该水域无机氮含量具有春季明显高于冬季的分布特点,但三态无机氮的转化程度不高,与该水域无机氮的供应源以沿岸排污为主要输入途径有关;10 年间无机氮的含量变化无论是整个海域还是局部海域,均以春季变幅远大于冬季,但在组成上春季 NO_3^- 明显低于冬季, NH_4^+ 则与此相反。这与各时期不同季节氮的补充与消耗途径及转化速率不同有关。

关键词 北海半岛,无机氮,演化规律

中图分类号 P734.4⁺¹ **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)09-0069-05

北海半岛位于北部湾东北岸段,三面临海,一面靠陆,是我国沿海 14 个对外开放港口城市——北海市的所在地。由于其濒临北部湾渔场,亦是广西沿海的主要渔业基地。自 1983 年广西海岸带调查开始以来,有关该海域的调查曾开展过多次,有局部调查、大面调查,也有环岛调查。但至今为止,涉及该海域无机氮的报道多以局部和大面调查报道为主^[1-3],而围绕整个北海半岛的近岸调查虽开展过多次,但至今未见有报道。作者通过收集 1983 年以来历次调查资料,从中选取 4 次以围绕北海半岛为主体的调查资料和 4 次既有代表性又有较强可比性的局部调查资料,对该海域无机氮的演化规律进行分析研究,旨在比较全面地了解北海市开发初期、中期和后期水域无机氮的变化趋势,为该海域的生态环境和资源开发提供参考依据。

1 调查与分析

本调查水域范围为东经 $108^{\circ}53'$ ~ $109^{\circ}14'$,北纬 $21^{\circ}17'$ ~ $21^{\circ}23'$,其中环岛调查的时间分别为 1988 年 4 月、1991 年 12 月、1992 年 11 月和 1993 年 5 月,调查测站布设为 11~15 个;4 次以北部海域为重点的具体调查时间为 1995 年 3 月、1996 年 12 月、1999 年 1 月和 1999 年 4 月,调查站位为 7~9 个(见图 1)。样品的采集、保存和分析均按《海洋调查规范》和

HY003.1-91 中的方法进行。

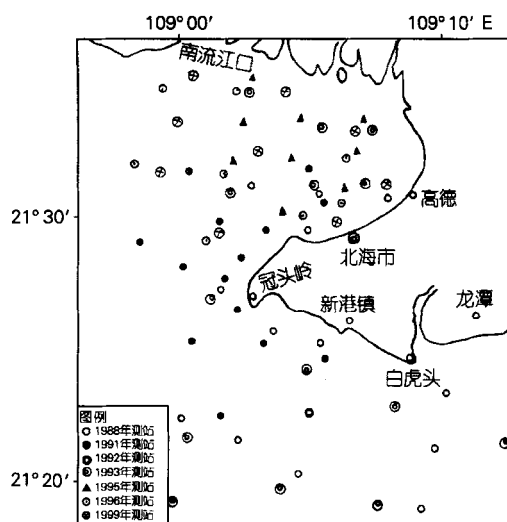


图 1 调查站位

Fig.1 Sample stations

* 广西自然科学基金项目,桂科字 9811018 号。
第一作者:韦蔓新,出生于 1955 年,工程师,主要从事海洋化学研究工作。电话:0779-2055086

收稿日期:2002-03-09;修稿日期:2002-05-20

2 结果与讨论

2.1 无机氮的分布特征

无机氮是水域生态系统中的重要环境要素,也是浮游植物繁殖生长所必需的三大营养盐之一,其在海水中的分布和变化,与水体中的物理、化学和生物过程密切相关^[4~6]。由于北海半岛近岸水域在陆源供应方面存在显著差异,无机氮的含量无论在时间上、季节上还是在区域上均出现明显不同的分布特征。由表1的结果可知,在8个航次的调查中,无机氮含量以1988年4月最高,1999年1月最低,依次排列为1988.4 > 1999.4 > 1995.3 > 1993.5 > 1992.11 > 1991.12 > 1999.1。从排列的次序可以清楚地看到,无机氮出现高值的季节,均为雨量较多、陆源影响较大、浮游植物繁殖比较旺盛的春季;而无机氮出现低值的季节则均为雨量最少,陆源供应明显不足的冬季。说明该海域无论是径流输入还是城区的陆源补充均以春季较为显著。在区域分布上,无论是开发初期、中期还是后期,受沿岸排污和南流江水影响较大的西北部海域无机氮含量均较高,尤

以春季较为明显,而没有常年河流影响、沿岸排污影响相对较小的西南部海域无机氮含量较低。但在不同时期,无机氮的含量具有明显不同的分布特征。在北海市开发初期的1988年春季,无机氮的高值区出现于陆源水和沿岸排污影响较大的高德至冠头岭沿岸海域,其中受南流江陆源水冲击的远岸测站无机氮含量明显高于北海市区沿岸排污影响较大的近岸测站,其平均含量分别为44.39 $\mu\text{mol/L}$ 和29.55 $\mu\text{mol/L}$,白虎头附近海域无机氮含量最低为9.40 $\mu\text{mol/L}$ 。显然,该季度月无机氮的分布既体现了南流江水在无机氮输送方面的重大贡献,也体现了北海市区沿岸排污对无机氮补充的重大影响。1993年春季,虽然南流江水带入了大量的无机氮,但由于该季度月浮游植物异常丰富(叶绿素a含量平均高达1.97 mg/m^3),消耗了较多的无机氮,其含量明显偏低,平均值只有8.58 $\mu\text{mol/L}$,但江口附近仍出现46.91 $\mu\text{mol/L}$ 的高值区,只是影响范围不大,主要以远岸测站为主,近岸海域的无机氮分布仍以沿岸排污影响为主。

表1 不同时期3种形态氮的平均含量及其百分组成

Tab.1 The average contents and percentages composition of three status of nitrogen in different years

调查时间 (年-月)	平均含量($\mu\text{mol/L}$)				组成(%)		
	$\text{NO}_3^- \text{N}$	$\text{NO}_2^- \text{N}$	$\text{NH}_4^+ \text{N}$	DIN	$\text{NO}_3^- \text{N}$	$\text{NO}_2^- \text{N}$	$\text{NH}_4^+ \text{N}$
1988-04	9.71	0.081	8.63	18.42	52.71	0.44	46.85
1993-05	5.57	0.25	2.76	8.58	64.92	2.91	32.17
1991-12	2.47	0.086	0.73	3.29	75.08	2.61	22.19
1992-11	2.67	0.039	1.84	4.55	58.68	0.86	40.44
1988-04	18.95	0.12	13.14	32.21	58.83	0.37	40.79
1993-05	4.03	0.25	2.92	7.20	55.97	3.47	40.56
1995-03	5.97	0.35	4.94	11.26	53.02	3.11	43.87
1999-04	23.04	1.10	2.17	26.31	87.57	4.18	8.25
1991-12	2.50	0.12	0.048	2.67	93.63	4.49	1.80
1992-11	3.49	0.097	1.43	5.02	69.52	1.93	28.49
1996-12	4.29	0.14	2.57	7.00	61.29	2.00	36.71
1999-01	0.79	0.047	0.43	1.27	62.20	3.70	33.86

注:上半部分为环岛调查结果;下半部分为北部海域调查结果。

1991年冬季,无机氮含量较低,平均值为3.29 $\mu\text{mol/L}$,但高值区出现于西部的冠头岭近岸海域,平均为4.34 $\mu\text{mol/L}$,南部及北部海域含量均较低,平均为2.60 $\mu\text{mol/L}$ 。前者与该海域较强的潮海流将

底层再生的无机氮带到表层有关;后者则与该季度月陆源供应相对较少有关。1992年正值北海大开发盛期,在径流影响较小的冬季,无机氮的高值区主要出现在人口密度较大、开发项目比较集中的北海市

区近岸海域和新港镇近岸海域,其范围为5.56 ~ 10.01 $\mu\text{mol/L}$,其余海域无机氮含量较低,多在3.50 $\mu\text{mol/L}$ 以下。

1995年3月为北部海域的局部调查,由于正值多雨季节,由南流江径流和北海市沿岸输入的营养物质明显增加,从而使该海域首次发生了微囊藻赤潮,大量的赤潮生物吸收和消耗了大量的无机氮,从而使无机氮含量明显下降,平均值为11.26 $\mu\text{mol/L}$ 。但在沿岸水、潮流和赤潮生物的相互作用下,该区无机氮含量出现了远岸含量较高,近岸次之,中部海域较低分布趋势,体现了物理、化学、生物作用对无机氮含量的综合影响。1999年4月为本水域8个航次调查中盐度值最低的季节,也就是南流江陆源冲淡水影响最大的季节,由南流江输送的无机氮以高含量、急输出的态势由西北向西南迁移,所波及的北部远岸测站出现了高达27.43 ~ 69.54 $\mu\text{mol/L}$ 的量值分布,梯度递减趋势极为明显,而北海市排污影响最大的近岸测站也只有14.76 $\mu\text{mol/L}$,很明显,南流江陆源水对该季度月无机氮的含量起主导控制作用。

1996年冬季,无机氮平均含量为7.00 $\mu\text{mol/L}$,高值区出现在湾中部海域为12.15 $\mu\text{mol/L}$,次高值区出现在南流江口海域为6.30 ~ 8.47 $\mu\text{mol/L}$,其余海域无机氮含量均在3.88 $\mu\text{mol/L}$ 以下。这说明水体对流作用对本季度月无机氮的含量具有重大贡献,南流江水的物理混合作用只占次要地位,而北海沿岸排污对无机氮的含量影响较小,但在1999年1月,该水域无机氮的含量出现最低值而且其平面分布具有近岸明显高于远岸的特征,突出体现了沿岸排污、排废的主导影响作用。

上述结果表明,本水域无机氮在不同时期、不同季节、不同区域所表现出的分布特性,均突出体现了水域当时的环境状况,与水体的物理、化学、生物过程密切相关。

2.2 三态无机氮的百分组成

海水中的无机氮主要由 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 组成,由于受水体中物理、化学、生物等因素的影响,3种形态氮在不同环境条件下通过不同细菌或酶的硝化或反硝化作用而互相转化,它们在海水中的比例组成状况,是衡量海区无机N转化程度高低^[5-7]的标志。

表1结果显示,北海半岛近岸水域三态无机氮

之间的转化程度不高,其中 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 占DIN的52.71% ~ 93.63%; $\text{NO}_2^- \text{N}$ 占DIN的0.37% ~ 4.49%; $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 则占DIN的1.80% ~ 46.85%。但随着各时期氮源的补充与消耗不同及区域上的差异,三态氮之间的相互转化呈现出特有的变化特征。1988年春季,在三态氮的组成中虽以 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 占比例略高,但与 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 的差值并不明显,而呈中间形态的 $\text{NO}_2^- \text{N}$ 则明显偏低。但三态氮之间具有显著的正相关关系($r = 0.692 \sim 0.826, n = 14$),尤以 NO_3^- 与 NH_4^+ 的相关性最好。说明本季度月三态氮具有较好的同源性;均是以氨化程度影响为主,尤以西南部海域较为明显,这与该海区近岸海域以对虾养殖为主体,其排泄物及残饵腐解物使 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 的含量得到源源不断的补充有关。

1991年冬季,三态氮的组成以 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 为主,但区域性变化极为显著,其中北部海域所有测站 NO_3^- 均在92.35% ~ 95.02%之间; NO_2^- 次之为3.15% ~ 6.58%; NH_4^+ 最小为0.91% ~ 2.90%。说明该海域三态氮之间的转化程度较高,而且有机物的分解已进入中间氧化状态,体现了以 $\text{NO}_2^- \text{N}$ 为主导的化学氧化作用的影响;而西南部海域 NO_3^- 则明显低于北部海域,尤以西部海域最为显著,均在47.87% ~ 59.33%之间, NH_4^+ 则上升至39.62% ~ 50.85%。显然,这与该海域强烈的水体对流作用将底部有机质分解而释放出的 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 带到表层有关。

1992年冬季,三态氮的组成分配突出体现了沿岸排污的主导影响作用。从整个海域的分布情况看,沿岸排污影响较小的测站,以 NO_3^- 较高(均在60%以上);沿岸排污影响较大的测站则以 NH_4^+ 较高(多在50%以上);而 NO_2^- 除个别测站外均低于0.34%。说明本季度月三态氮在组成上的显著变化,是沿岸排放富含有机物的污水在微生物作用下氧化分解的结果。

1993年5月正值春季中耕施肥时节,由于南流江水带入了大量以 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 为主要存在形式的无机氮,受淡水冲击较大的远岸测站 NO_3^- 远高于调查水域的近岸测站,均在72.01% ~ 91.34%之间, NO_2^- 也出现了3.26% ~ 4.85%的高值, NH_4^+ 则与此相反,均在5.39% ~ 24.10%之间;而受沿岸排污影响较大的环岛近岸测站 NO_3^- 则明显偏低,尤以新港镇近岸海域最为显著, NO_3^- 只有12.59% ~ 26.15%,

NO_2^- 也低至 0.57% ~ 1.35%, 而 NH_4^+ 则高达 72.51% ~ 86.85%, 其余测站也多在 59% 以上, 出现了以 NH_4^+ -N 为主要存在形式的特征分布。很明显, 本季度月三态氮的组成一方面与南流江携带大量以化肥流失为主要特征的硝酸态 N 入海有关, 另一方面则与新港镇排放大量以有机态氮为主体的生活污水有关。

1995 年 3 月为入春初始阶段, 由南流江携带入海的无机氮含量相对较低, 沿岸排污输入仍占较大的比例, 加上调查期间巧遇赤潮, 大量赤潮生物的生长与消亡, 使无机氮的消耗与补充发生明显改变的同时, 三态氮的组成也随之改变, 即使在江口近岸海域, NO_3^- 也只在 56.67% ~ 74.85% 之间, 北海近岸测站也低至 24.92% ~ 51.27% 之间; NH_4^+ 则与此相反, 尤以排污量较大的测站最为显著; NO_2^- 则均在 2.21% ~ 3.93% 之间。

1996 年 12 月, NO_3^- 的高值区出现在南流江口海域为 74.93% 和 78.39%, 而低值区则出现于湾中部海域为 41.15%; NH_4^+ 则与此相反。前者与南流江水携带大量以 NO_3^- -N 为主的无机氮入海有关, 后者则与水体对流作用将底层再生的 NH_4^+ -N 带到上层有关。

1999 年 1 月, 三态氮的组成出现了南流江口海域 NO_3^- 明显低于北海近岸海域的特征, 其变化范围分别为 51.82% ~ 69.23% 和 60.45% ~ 87.30%; 在江口和北海近岸, NO_2^- 也出现了 6.64% 和 8.73% 的高值, 其余测站均在 3.69% 以下; 而 NH_4^+ 的最高值出现在合浦近岸水域为 44.74%, 最低值则出现在北海近岸水域为 3.97%。说明本季度月三态氮的转化多处在一、二级氧化阶段, 但以北海近岸测站的转化率较高。1999 年 4 月, 随着南流江径流无机态 N 输送量的增加及水温的明显上升, 无机氮的转化率较冬季明显上升, 其中江口海域 NO_3^- 升至 83.72% ~ 91.42%, 北海近岸海域也升至 72.56% ~ 88.55%, 而处于中间氧化状态的 NO_2^- 也均在 3.7% 以上。说明本季度月由有机氮向无机氮转化的氧化过程进行得比较强烈, NO_3^- -N 成为本季度月无机氮的主要存在形式。

综上所述, 北海半岛水域三态氮的转化程度不高, 这与该海域以沿岸排污为主要输入途径有关。但从区域分布看, 则以北部海域的转化率较好, 西南

部海域的转化率较差, 这与西南部海域以养殖排废和生活排污为氮的主要补充途径有关。

2.3 无机氮的变化趋势

北海半岛水域 10 年来无机氮的含量发生了明显的变化, 但随着季节不同, 变化趋势亦有所改变。在时间间隔较短的 4 个航次的环岛调查中, 3 种不同形态的无机氮在不同季节具有明显不同的变化特征。在春季, 处于稳定形式的 NO_3^- -N 和作为有机氮氧化第一产物的 NH_4^+ -N 均呈明显下降趋势, 只有作为中间形态的 NO_2^- -N 呈明显上升趋势; 但其百分组成则表现为 NO_3^- 和 NO_2^- 呈上升趋势, 而 NH_4^+ 则呈下降趋势。这可能与流域面积化肥使用量增加, 由陆源输入的氮以 NO_3^- 态氮占比重较大有关。在冬季, 三态氮的变化则与春季相反, NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 均呈上升趋势, 而 NO_2^- -N 则呈下降趋势; 其百分组成也与春季相反, NO_3^- 和 NO_2^- 呈明显下降趋势, 而 NH_4^+ 则呈明显上升趋势。显然, 在陆源径流影响最小的冬季, 三态氮的组成突出体现了陆源排污和养殖排废的影响作用。一方面与北海开发盛期市区人口迅速增加, 沿岸排放富含有机物的生活污水也明显增加有关; 另一方面则与近岸水域的增殖逐年增加, 排放的养殖废水也明显增加有关。

但在时间间隔达 10 年的 8 个航次北部海域调查中, 三态无机氮的含量变化则反映了北海市开发初期、中期和后期近岸水质受陆源径流和沿岸排污输入的影响程度。由表 1 下半部分的调查结果可知, 在南流江径流影响较大的春季, 无机氮的最高值和次高值分别出现在 1988 年度和 1999 年度, 较低值出现于 1995 年度, 1993 年度无机氮含量最低, 变化幅度为 25.01 $\mu\text{mol/L}$ 。前者与南流江水输入较多无机氮入海, 而浮游植物量相对较低有关; 中者则与该季度月浮游植物异常丰富消耗较多无机氮有关; 后者则与调查期间水域发生赤潮, 大量赤潮生物对无机氮的消耗明显增加有关。但在 4 个航次的调查中, 三态氮的组成除 1999 年度明显体现出以 NO_3^- -N 为主要存在形式外, 其余 3 个航次的调查 NO_3^- 均在 53.02% ~ 58.83% 之间, NH_4^+ 则均在 40.56% ~ 43.87% 之间, 而 NO_2^- 除 1988 年度明显偏低 (0.37%) 外, 也均在 3.11% ~ 4.18% 之间, 说明本水域春季三态氮的转化率不高, 且多处于初级氧化分解阶段。在南流江径流影响较小的冬季, 无机氮含

研究报告 REPORTS

量则以1996年度最高,1992年度次之,1999年度最低,变化幅度为 $6.73 \mu\text{mol/L}$ 。但在三态氮的组成中, NO_3^- 呈明显下降趋势,下降幅度为32.34%,而 NH_4^+ 则呈明显上升趋势,上升幅度为34.91%; NO_2^- 无明显规律性,但变化幅度为2.56%。说明本水域冬季无机氮的补充途径主要以沿岸排放富含有机物的生活污水为主,而且随时间变化呈规律性增加。

3 结语

(1) 北海半岛水域无机氮的含量具有春季明显高于冬季的分布特点。前者与该季度月雨量比较充沛,来源于径流输入、陆源补充和养殖排废的无机氮明显增加有关;后者则与该季度月雨量较少,无机氮的供应源明显下降有关。

(2) 本水域三态无机氮的转化程度不高,这与该海域无机氮的供应源以沿岸排污为主要输入途径有关;但在区域分布上,北部海域的转化程度较高,西南部海域的转化程度较低,这与西南部海域以养殖排废和生活排污为主要补充途径有关。

(3) 北海半岛水域10年间无机氮的含量变化,

无论是整个海域还是受径流、沿岸生活排污和工业排废影响较大的北部海域,均表现为春季远大于冬季;而在组成分配上,则以春季 NO_3^- 明显低于冬季, NH_4^+ 则与此相反,这与各时期不同季节氮的补充与消耗途径及转化速率不同有关。

参考文献

- 1 韦蔓新,何本茂.北部湾北部沿海硝酸盐含量分布的初步探讨.海洋科学,1988,26(4):46-52
- 2 韦蔓新,何本茂.廉州湾富营养化与赤潮形成的研究.热带海洋,1998,17(4):65-72
- 3 韦蔓新,童万平,何本茂,等.北海湾无机氮的分布及其与环境因子的关系.海洋环境科学,2000,19(2):25-29
- 4 石强,陈江麟,李崇德.渤海硝酸盐氮和亚硝酸盐氮季节循环分析.海洋通报,2001,20(6):32-38
- 5 庄万金,曾昭文.厦门西海域营养盐的地球化学1.无机氮.海洋通报,1991,10(5):14-19
- 6 彭云辉,王肇鼎,高红莲,等.大亚湾大鹏澳养殖网箱水体无机氮的生物地球化学.海洋通报,2001,20(2):16-23
- 7 张正斌,顾宏堪,刘莲生,等著.海洋化学.上海:上海科学技术出版社,1984.280-297

THE EVOLUTION PATTERN OF INORGANIC NITROGEN IN THE COASTAL WATERS ALONG BEIHAI PENINSULA

WEI Man-Xin HE Ben-Mao LAI Ting-He
(Guangxi Research Centre of Mangrove Forest, Beihai, 536000)

Received: Mar. 9, 2002

Key Words: Beihai Peninsula, Inorganic nitrogen, Evolution pattern

Abstract

Based on eight sequences of investigation voyages in the coastal waters along Beihai peninsula from 1988 to 1999 and started with the distribution characteristics of inorganic nitrogen and thermodynamics balance of the three status of nitrogen, a analysis on the evolution pattern of inorganic nitrogen in this bay was carried out. The results showed that the contents of inorganic nitrogen in spring were obviously higher than these in winter. But there was a fairly large distance before the transformation among the three status of nitrogen reached the thermodynamics balance, which shows that the main supply resource of inorganic nitrogen in this bay was the pollutant drainage from land. For the ten years, the variety degrees of the inorganic nitrogen contents in spring were fairly higher than those in winter either in the whole bay or partial district. As to the percentage composition, the percentage of NO_3^- to the total inorganic nitrogen in spring was largely lower than that in winter, and that of NH_4^+ appeared a contrary law. That relates to the difference in the supply and depletion method of inorganic nitrogen and the transformation rates in various terms and seasons.

(本文编辑:张培新)