

利用氮同位素技术探讨天津地表水氮污染^{*}

岳甫均^{1,2} 李军^{3**} 刘小龙^{1,2} 朱兆洲³

(中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; ²中国科学院研究生院, 北京 100039;

³天津师范大学水环境与水资源重点实验室, 天津 300384)

摘要 地表水的氮污染状况与水质、区域景观等密切相连。本文分析了天津地表水的三氮(NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N)组成,以及部分水样 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N的N同位素组成。结果显示: NO_3^- -N的含量为0.01~16.51 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为2.25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,部分样品 NO_3^- -N的含量超过50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (以 NO_3^- -N计为11.29 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); NH_4^+ -N的含量为0~10.60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为1.15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,有1/4水样超过1.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;另外,在所有样品中有1/12水样有较高的 NO_2^- -N。 NO_3^- -N为大部分水样无机氮的主要形态,污水等部分水样以 NH_4^+ -N为主要形态。 NO_3^- -N同位素值的变化范围为-5.5‰~+28.6‰,均值为+9.0‰(n=49),中值为+8.5‰; NH_4^+ -N同位素值的变化范围为-8.8‰~+34.3‰,均值+11.6‰(n=11),中值为+13.6‰。水化学和同位素结果分析表明,该区地表水的氮主要来源为生活污水,而且氮形态转化受硝化作用、挥发作用以及可能的反硝化作用影响明显。

关键词 氮同位素; 天津; 地表水; 氮污染

中图分类号 X142 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)7-1403-06

Nitrogen pollution of surface water in Tianjin based on nitrogen isotope approach. YUE Fu jun^{1,2}, LI Jun^{3**}, LIU Xiao long^{1,2}, ZHU Zhao zhou³ (¹ State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; ² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ³ Key Laboratory of Aquatic Environment and Water Resource, Tianjin Normal University, Tianjin 300384, China).

Chinese Journal of Ecology 2010 29(7): 1403-1408

Abstract In order to understand the situation of surface water nitrogen pollution in Tianjin, this paper analyzed the nitrogen (nitrate, ammonium, and nitrite) concentrations in the river, reservoir, saltwater, and sewage, and the isotopic composition of nitrate and ammonium nitrogen in most water samples. The NO_3^- -N concentration in the waters ranged from 0.01 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ to 16.51 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, with a mean value of 2.25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Some waters had the NO_3^- -N concentration > 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (11.29 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of NO_3^- -N), showing their high nitrate pollution. The NH_4^+ -N concentration in the waters was from 0 to 10.60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, with a mean value of 1.15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. One fourth of the waters had the NH_4^+ -N concentration > 1.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. About 1/12 of the waters had higher NO_2^- -N. In most water samples, nitrate was the dominant species of inorganic nitrogen. Ammonium was the main nitrogen species in some waters, especially in sewage. The $\delta^{15}\text{N}$ NO_3^- -N value ranged from -5.5‰ to +28.6‰ (n=49, mean +9.0‰, median +8.5‰), and the $\delta^{15}\text{N}$ NH_4^+ -N value ranged from -8.8‰ to +34.3‰ (n=11, mean +11.6‰, median +13.6‰). All the results suggested that domestic sewage was the main source of surface water nitrogen pollution in Tianjin, and the nitrogen isotopic composition was obviously affected by nitrification, ammonia volatilization, and denitrification.

Key words nitrogen isotope; Tianjin; surface water; nitrogen pollution

^{*}国家自然科学基金项目(40421002, 40803002)、天津市应用基础及前沿技术研究计划项目(09JCZDJC25900, 09JCYBJC07900)、环境地球化学国家重点实验室开放课题项目(SKLEG0004)和天津市高等学校科技发展基金资助项目(20070711)。

^{**}通讯作者 E-mail: lijun5931@163.com

收稿日期: 2009-12-22 接受日期: 2010-03-23

水体氮污染正日益成为人们关注的环境问题之一。过高的氮负荷会带来严重的生态环境和人体健康问题,如水体富营养化、温室气体排放、水质恶化等 (Korım, 1992; Vitousek et al., 1997; Kendall 1998; 周爱国等, 2003; 刘丛强等, 2007)。饮用水中过高的硝酸盐会导致“兰婴”综合症,以及胃癌、直肠癌、淋巴瘤等癌症发病率的升高 (Gulis et al., 2002)。了解水体的氮污染状况及来源,可为进一步对氮污染的防治提供科学依据。

自然界中的氮有 2 种稳定同位素 ^{14}N 和 ^{15}N 不同物质的 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 值不同。目前,氮同位素方法已被广泛应用于各类水环境中无机氮来源、迁移和转化方面的研究 (Kendall 1998; 邢光熹等, 2001; Liu et al., 2006; 邢萌和刘卫国, 2008; Li et al., 2010a; 2010b)。

天津是一个缺水城市,人均水资源拥有量约 160 m^3 ,仅为全国人均占有量的 $1/16$ 。随着城市和经济的发展,天津水资源形势不容乐观,污水再生利用能有效缓解城市的缺水状况,对天津有着非同寻常的意义。探讨天津地表水氮污染现状,以及利用同位素表征氮污染特征和来源,将有利于水质的准确评估和水资源的循环利用。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

天津市位于 $38^{\circ}34'\text{N}$ — $40^{\circ}15'\text{N}$ $116^{\circ}43'\text{E}$ — $118^{\circ}04'\text{E}$ 地处华北平原东北部,东临渤海,北依燕山,市辖 15 区 3 县,全市常住人口为 1115 万人。地质构造复杂,大部分被新生代沉积物覆盖。地势以平原和洼地为主,北部为低山丘陵,海拔由北向南逐渐下降。北部最高,海拔 1052 m ; 东南部最低,海拔 3.5 m 。气候主要受季风环流的支配,是东亚季风盛行的地区,属暖温带半湿润季风气候,年均气温 11.4°C — 12.9°C ,年均降水量 $520\sim 660\text{ mm}$; 6—8 月的降水量约占全年的 75% 左右。

研究区内主要河流有海河、永定新河、潮白新河、蓟运河等。海河水系由北运河、永定河、大清河、子牙河和南运河 5 条河流组成,自北、西、南 3 面汇入天津后东流至大沽口入渤海。海河上游支流较多,这些支流在中游汇入北运河、永定河、大清河、子牙河和南运河。永定新河上起北辰区的屈家店,下至塘沽区的北塘镇入海,北三河(海河流域北部的北运河、潮白新河、蓟运河)也由此入海。全市有大型水库 3 座,总库容量 3.4 亿 m^3 。进入 20 世纪

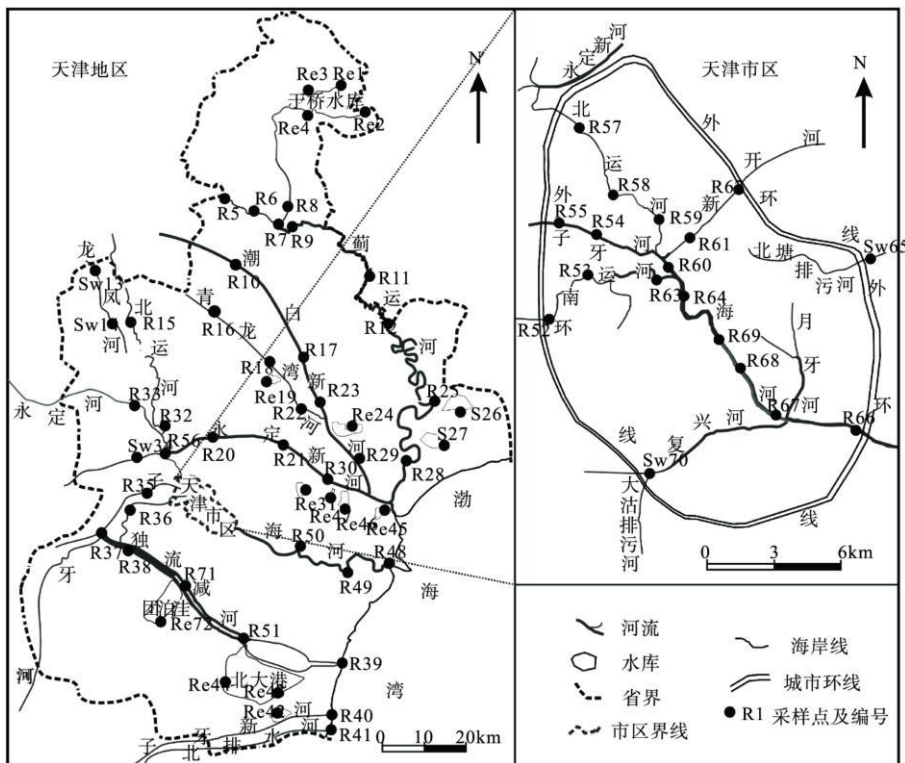


图 1 采样点位置分布示意图

Fig 1 Location of sampling sites

80年代以来,天津市出现连年缺水;同时,随着城市发展进程的加快、人类活动的加剧,浅层地下水受工业、农业和生活排污的影响日益严重。水资源的短缺与污染,已经严重制约了天津社会经济的发展以及人民生活水平的提高(天津市环境保护局,2005)。

1.2 样品采集与分析

2008年1月根据天津地区地表水的类型和分布状况,对不同水体进行了采样,采样点分布如图1所示,主要包括河水(R)、水库水(Re)、污水(Sw)(采样时观察到明显的异味和污浊色度)、盐场水(S)等,共计72件水样。水样经 $0.45\ \mu\text{m}$ 的醋酸纤维滤膜过滤,用于三氮含量及其同位素组成分析。 NO_3^- -N用离子色谱仪(ICS90)测定, NH_4^+ -N用蒸馏-纳氏试剂光度法测定, NO_2^- -N用N-(1-萘基)-乙二胺光度法测定。 NH_4^+ -N同位素采用扩散法收集转换成的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NO_3^- -N同位素采用蒸发浓缩法,将水样浓缩至0.1 L左右加入达氏合金,调节pH值收集采用扩散法转换成的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,此过程不会引起同位素分馏(肖化云和刘丛强,2002),将收集得到的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 冷冻干燥,然后利用EA-MS测定氮同位素值,用 δ 表示,以大气氮同位素比值($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)为标准值,按下式计算氮同位素值:

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left\{ \left[\frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{样品}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{标准}}} \right] - 1 \right\} \times 1000$$

分析误差 $<0.2\text{‰}$ 。所有分析均在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成。

2 结果与分析

2.1 地表水氮含量

由表1可见,所有样品均有 NO_3^- -N检出,范围为 $0.01 \sim 16.51\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为 $2.25\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; NH_4^+ -N的检出范围为 $0 \sim 10.60\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为 $1.15\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; NO_2^- -N检出范围为 $0 \sim 0.53\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为 $0.07\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。从氮存在的形态看,硝氮是大多数样品无机氮存在的主要形态(图2)。部分样品主要以铵氮形态存在,同时硝氮含量很低。这有可能是生活污水输入的有机氮或铵氮还未完全转换为硝氮。世界卫生组织设定的 NO_3^- 饮用水标准($50\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以 NO_3^- -N计 $11.29\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,WHO 2008),其中有4个水样(Rq, S13, S14, S6)的

NO_3^- 含量超过了这一标准,Rq为一死水,附近有生活污水间断排入;S13和S14水样受北京排污河的影响较重;S6水样受晒盐场附近污水影响明显。地表水环境质量标准(GB 3838-2002)规定:I类水体铵氮浓度不超过 $0.15\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;II类 $\leq 0.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;III类 $\leq 1.0\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;IV类为 $1.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在所检测的水样中, NH_4^+ -N高于 $1.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的有17个,约占总水样的1/4,表明铵氮是天津地表水的典型污染物。其中,R40和S65的 NH_4^+ -N超过 $10\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,点源污染明显。亚硝氮的含量都较低,部分水样低于检测限,但仍有6个水样亚硝态氮含量超过世界卫生组织推荐的长期饮用水中亚硝氮含量不高于 $0.2\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的标准(WHQ 2008)。同时,这6个水样的硝氮、铵氮含量也都较高,表明水体污染严重,具有高毒性。

从空间分布来看,永定河上游、龙凤河以及北运河上游的硝氮、铵氮含量都较高,而这些河流多为受排污影响的河流,水样中的高氮含量可能是上游排污所致。以上河流经R56号闸口后,一部分经北运河流入天津市,另一部分流入永定新河。R56号闸口点的硝氮、铵氮含量都较高,进入市区后北运河铵氮仍较高,而硝氮有所降低。子牙河在未流入海河前硝氮含量较高,进入市区后硝氮、铵氮含量都比进入市区前有所增加。南运河水样在流入市区后硝氮含量先减小后增加,后有河流汇入后减小,铵氮含量变化相反。市区内有2条排污河,分别为流入永定新河的北塘排污河和直接流入渤海湾的大沽排污河,这2条排污河吸纳市区近80%的污水(秦保平等,2009),其铵氮含量均较高,其中北塘排污河部分样点的铵氮含量高达 $10.6\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。由于排污河的作用,市区内海河的硝氮、铵氮含量没有出现高值。流入永定新河的河水,硝氮含量较低,铵氮含量较高,随着水流方向铵氮含量逐渐减小,当北塘排污河汇入后,因排污河中铵氮含量高导致永定新河铵氮含量升高。附近的青龙湾河与潮白新河上游水体硝氮、铵氮含量都比较高,随后逐渐减小。

北部于桥水库的硝氮含量略高,其中Rq点为死水,硝氮高达 $16.51\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。铵氮含量除个别水样较高以外,其余都很低,这可能与该区的农业活动有关。氮肥施入土壤后,可通过硝化作用转化为硝氮,带负电荷的土壤颗粒和胶体对铵氮的吸附作用较强,对硝氮吸附作用很弱,所以硝氮更易于遭雨水或灌溉水淋洗而进入地下水或通过径流、侵蚀等汇

表 1 天津地表水无机氮含量及氮同位素值

Table 1 Inorganic nitrogen concentration and nitrogen isotopic values in Tianjin surface water

样号	NO ₃ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻ (‰)	样号	NO ₃ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	δ ¹⁵ N-NO ₃ ⁻ (‰)
R1	16.51	0.24	0.02	6.9	R37	0.11	0.04	0.02	—
R2	2.95	0.05	0.02	8.0	R38	0.95	2.54	0.01	-2.3
R3	1.60	0.02	0.02	7.8	R39	7.62	0.04	0.04	—
R4	1.70	0.02	0.02	—	R40	0.61	10.33	0.02	—
R5	2.80	1.79	0.01	-5.5	R41	5.02	0.19	0.02	8.2
R6	4.15	0.02	0.03	5.9	R42	4.08	0.34	0.02	—
R7	0.01	0.06	0.00	—	R43	0.13	0.14	0.06	3.8
R8	1.84	0.06	0.04	6.2	R44	0.60	0.02	0.00	-2.4
R9	0.92	0.05	0.02	1.2	R45	0.13	0.02	0.00	—
R10	9.92	1.47	0.53	6.0	R46	0.09	0.03	0.00	—
R11	0.05	0.03	0.00	—	R47	0.13	0.00	0.00	—
R12	0.41	0.08	0.01	11.4	R48	1.86	1.06	0.20	-0.5
Sv13	12.73	1.70	0.43	11.7	R49	3.87	0.45	0.16	-4.1
Sv14	13.03	2.69	0.41	8.4	R50	0.73	0.05	0.03	16.6
R15	8.98	1.90	0.49	8.0	R51	0.29	0.03	0.03	8.7
R16	5.20	2.46	0.22	13.2	R52	0.13	5.70	0.00	13.3
R17	0.47	0.20	0.02	19.1	R53	1.29	0.04	0.01	9.6
R18	0.72	0.11	0.02	17.7	R54	0.99	0.15	0.03	8.5
R19	0.21	0.02	0.00	2.9	R55	0.89	0.27	0.03	3.9
R20	0.48	5.72	0.18	9.1	R56	5.79	1.52	0.17	—
R21	0.45	3.72	0.10	28.6	R57	0.05	1.12	0.08	—
R22	1.65	0.19	0.12	12.3	R58	0.07	2.43	0.06	—
R23	0.91	1.10	0.07	13.7	R59	3.25	0.20	0.04	—
R24	0.19	0.25	0.06	15.7	R60	1.24	0.14	0.05	25.0
R25	0.06	0.55	0.00	22.7	R61	1.39	0.09	0.01	—
S26	11.43	0.08	0.01	1.4	R62	1.03	0.50	0.03	6.5
S27	4.22	0.03	0.01	—	R63	0.25	0.11	0.02	-4.7
R28	0.18	1.31	0.02	-1.3	R64	1.24	0.24	0.03	—
R29	0.49	0.94	0.04	13.6	Sv65	0.29	10.60	0.17	—
R30	0.31	5.84	0.01	—	R66	1.29	0.12	0.03	16.1
R31	0.38	0.03	0.00	9.0	R67	1.06	0.09	0.05	-4.6
R32	0.35	2.03	0.00	14.1	R68	1.44	0.11	0.06	—
R33	4.47	2.37	0.17	12.3	R69	1.92	0.12	0.06	8.4
Sv34	0.07	1.14	0.01	—	Sv70	0.06	2.75	0.00	—
R35	0.16	0.03	0.00	8.7	R71	0.72	1.52	0.18	15.5
R36	1.49	1.37	0.14	25.6	R72	0.26	0.09	0.01	—

入地表水,造成地表水的高硝氮含量(邢光熹等,2001;肖化云和刘丛强,2004;许海等,2008)。

蓟运河硝氮含量较低,铵氮含量除 R28点高以外,其他点均较低。独流减河平时无水流入,水体流动性较差,上游铵氮含量较高,导致入海口处硝氮含量较高。子牙新河的铵氮含量较高,而北排水河的硝氮含量较高,这可能与该区的生活污水和工业废水排放有关。水库样品除位于南部的沙井子水库硝氮含量高以外,其他水库的三氮含量都较低。

2.2 地表水氮污染来源

地表水中氮的主要来源有土壤有机氮、农业化肥、动物排泄物、工业废水和生活污水以及雨水等。由于不同来源的氮有着不同的氮同位素信号,因此,氮同位素可以用于示踪含氮物质的来源。根据已有的研究结果(Kendall et al., 1998)可知,含硝酸盐和铵盐的化肥一般是由大气中的氮经加工生产而来,δ¹⁵N值多在 0.0‰左右。土壤有机氮的 δ¹⁵N范围在 +2.0‰~+8.0‰,有机氮经氧化作用缓慢转化成

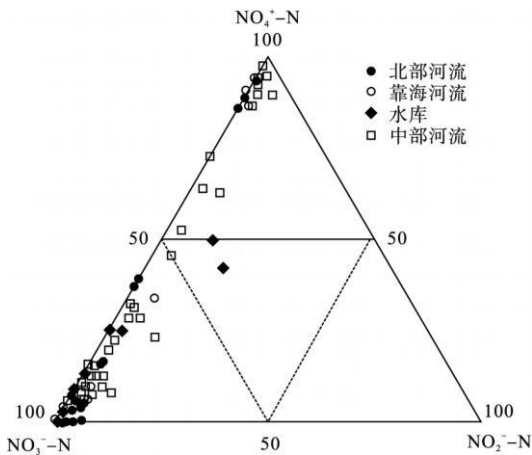


图 2 天津地表水溶解性无机氮组成(硝氮, 铵氮和亚硝氮)
Fig. 2 Triangular diagram of dissolved inorganic nitrogen species (nitrate, ammonium and nitrite) in Tianjin surface water

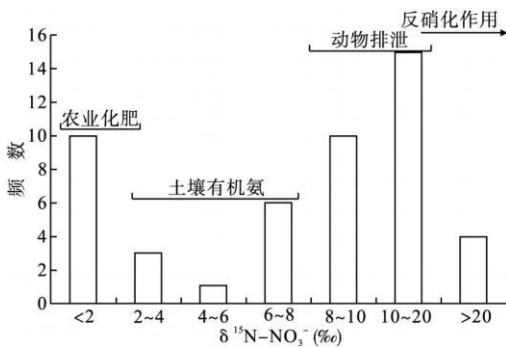


图 3 天津地表水硝酸盐氮同位素频数分布
Fig. 3 Histograms of $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ in Tianjin surface water

NH_4^+ , 然后经硝化作用生成具有相近氮同位素组成的 NO_3^- 。一般来源于动物排泄物的氮素具有较高的 $\delta^{15}\text{N}$ 取值范围为在 $+8\% \sim +20\%$, 城市排污若以生活排泄物为主要来源其氮同位素值高于 $+10\%$, 若主要是工业来源则低于 $+10\%$ (Heaton, 1986; Kendall, 1998; Liu et al., 2006)。天津市地表水 $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ 最大值为 $+28.6\%$, 最小值为 -5.5% , 均值为 $+9.0\%$ ($n=49$), 中值为 $+8.5\%$ (表 1)。

从图 3 可以看出, 51% 样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 $+8\% \sim +20\%$, 约 20% 的样品小于 $+2\%$ 。结合研究区概况, 生活污水和农业活动应是硝酸盐的主要来源, 而且这些污染源有较宽的同位素取值范围, 并受局部人为因素影响较多。如青龙湾河与潮白新河 2 条河流的水样硝氮同位素值, 其值范围中只有 1 点低于 $+10\%$, 其他点都在 $+12.3\% \sim +19.1\%$ 。北部的的水样 (表 1) 硝酸盐氮同位素值基本低于 $+8\%$, 其中 2 点甚至低于 $+2\%$ 。天津市区周围的硝酸盐氮

同位素值大多高于 $+14\%$, 说明此区应受城市生活污水排放的影响较多。

同时, 测定了部分水样的铵氮同位素值, 结果显示, $\delta^{15}\text{N}-\text{NH}_4^+$ 取值范围相对宽, 为 -8.8% 至 $+34.3\%$, 均值 $+11.6\%$ ($n=11$), 中值为 $+13.6\%$ 。通过氮形态的同位素值取值范围可以初步判断, 生活污水 (含人畜排泄物) 的排放应是水体铵氮污染的主要因素, 但同时由于天津地区降雨较少、水体交换慢, 含较高有机质的水体氧化生成的氨, 可能会挥发而导致水体中残余铵富集重同位素, 故此测定部分水体中铵有较高同位素值。

综合硝氮及铵氮的同位素组成可以发现, 氮同位素值取值范围相对较宽, 这可能与人为污染源的复杂性和氮的生物地球化学过程有关, 如硝化作用和挥发作用等。一定条件下, 硝化细菌一般优先利用 ^{14}N 会使得残余物氨肥中富集 ^{15}N 即铵氮同位素值较高 (Heaton, 1986)。另外, 氨挥发也能造成铵氮同位素高 (Hübner, 1986)。本研究中, 铵氮较高的同位素取值可能与上述过程有关。同时, 氨挥发导致残余水体铵富集氮同位素, 因此硝化后的硝酸盐也具有较高的氮同位素值 (如 R21 号)。

当生活污水输入水体中, 有机质氧化为铵, 铵再氧化为 NO_3^- , 由于硝化反应过程中 ^{14}N 总是优先参与硝化反应, 所以水体中硝酸盐同位素组成一般都低于铵同位素组成, 同时部分水体硝酸盐同位素组成偏负, 可以定义为端元 A (图 4); 而具有高硝氮水体中的硝酸根同位素组成在 $+10\%$ 左右, 与前人的污水研究结果类似 (张翠云等, 2004; Li et al., 2010a), 可定义为端元 B; 水体硝酸盐同位素特征不仅同不同来源的污染物有关系, 而且与生物驱动的氮循环密切相关 (李思亮等, 2002)。本研究中, 部分水体硝酸盐氮同位素组成可达 $+20\%$ 以上, 反硝化作用对含高硝氮水体的自净过程有重要影响。该过程是指 NO_3^- 在反硝化细菌的作用下还原成气体, 通常情况下微生物的反硝化作用能引起显著的氮同位素分馏, 富集因子在 $-40\% \sim +5\%$ (Kendall, 1998), 使得水体残余硝酸盐富集重同位素。部分水体中具有较低的硝酸盐含量, 而有较高的氮同位素组成, 一方面受富 ^{15}N 同位素的铵氧化影响, 另一方面可能受反硝化作用影响, 由此可定义低硝氮值和高氮同位素值水体为端元 C。因此, 从图 4 可以看出, 混合作用和生物作用是影响天津地表水硝酸盐同位素值分布的主要原因。

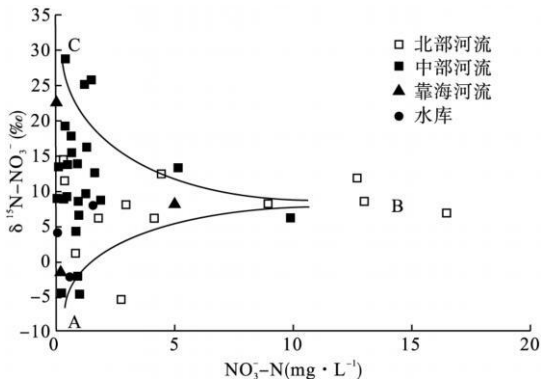


图4 天津地表水硝酸盐和氮同位素的关系
Fig. 4 Relationship between $\text{NO}_3^- \text{-N}$ and $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ in Tianjin surface water
A为硝化作用初期; B为污水; C为反硝化残余硝酸盐。

3 结论

通过对天津地表水体水样中无机氮形态(硝氮, 铵氮, 亚硝氮)的分析可知, 硝氮为主要的无机氮形态; 部分水样以铵氮为主要形态, 其中铵氮污染较重, 有近 1/4 的水样达不到地表水 IV 类标准。各氮素形态间的相互联系较少, 表明污染以复合污染为主。靠近市区周边的河流以及市区排污河的铵氮污染较重; 亚硝氮含量较低, 但仍有部分水样含量超过 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 表明这类水体受生活污水的直接影响。通过对市区周边河流及市区排污河水样同位素值分析表明, 生活污水的排放是影响水质的重要因素。对北部水样同位素组成的分析得出, 土壤有机氮及化肥的使用是水体氮素的重要来源。综合水体硝氮及铵氮的同位素组成特点得出, 地表水硝酸盐同位素值受混合作用和生物作用影响明显。另外, 硝化过程中的挥发, 以及反硝化作用导致的部分水体硝酸盐富集重同位素, 也表明水体的自净作用降低了水体硝氮和铵氮的累积。

致谢 感谢张国平研究员、刘虹博士、李玲博士、项萌博士、李勇高级实验师等在野外采样中给予的帮助, 感谢安宁研究员、耿龙年工程师等在同位素分析中给予的指导。

参考文献

- 李思亮, 刘丛强, 肖化云. 2002 地表环境氮循环过程中微生物作用及同位素分馏研究综述. 地质地球化学, 30(4): 40-45
- 刘丛强. 2007 生物地球化学过程与地表物质循环——西南喀斯特流域侵蚀与生源要素循环. 北京: 科学出版社.
- 秦保平, 房玉梅, 高翔, 等. 2009 天津市地表水环境污染特征及来源解析. 城市环境与城市生态, 22(4): 37-40

- 天津市环境保护局. 2005 天津市环境质量报告书(1992-2005). 天津: 天津市环境保护局.
- 肖化云, 刘丛强. 2002 水样硝酸盐氮同位素分析预处理方法探讨. 岩矿测试, 21(2): 105-108
- 肖化云, 刘丛强. 2004 氮同位素示踪贵州红枫湖河流季节性氮污染. 地球与环境, 32(1): 71-75
- 邢萌, 刘卫国. 2008 西安泾河、灞河硝酸盐氮同位素特征及污染源示踪探讨. 地球学报, 29(6): 783-789
- 邢光熹, 曹亚澄, 施书莲, 等. 2001 太湖地区水体氮的污染源和反硝化. 中国科学(B辑), 31(2): 130-137
- 许海, 刘兆普, 焦佳国, 等. 2008 太湖上游不同类型过境水氮素污染状况. 生态学杂志, 27(1): 43-49
- 张翠云, 张胜, 李政红, 等. 2004 利用氮同位素技术识别石家庄市地下水硝酸盐污染源. 地球科学进展, 19(2): 183-191
- 周爱国, 陈银琢, 蔡鹤生, 等. 2003 水环境硝酸盐氮污染研究新方法—— ^{15}N 和 ^{18}O 相关法. 地球科学, 28(2): 219-214
- Gulis G, Czompolyova M, Cerhan JR. 2002 An ecological study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava District Slovakia. Environmental Research, 88: 182-187.
- Heaton THE. 1986 Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: A review. Chemical Geology, 59: 87-102
- Hübner H. 1986 Isotopic effects of nitrogen in the soil and biosphere// Fritz P, Fontes JC, eds. Handbook of Environmental Isotopic Geochemistry Vol. 2. The Terrestrial Environment. Amsterdam: Elsevier, 361-425.
- Kendall C. 1998 Tracing nitrogen sources and cycling in catchments// Kendall C, McDonnell JJ, eds. Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Amsterdam: Elsevier, 519-576
- Koorn SF. 1992 Natural denitrification in the saturated zone: A review. Water Resources Research, 28: 1657-1668
- Li SL, Liu CQ, Lang YC, et al. 2010a Tracing the sources of nitrate in karstic groundwater in Zunyi, Southwest China: A combined nitrogen isotope and water chemistry approach. Environmental Earth Sciences, DOI: 10.1007/s12665-009-0277-0
- Li SL, Liu CQ, Li J, et al. 2010b Assessment of the sources of nitrate in the Changjiang River, China: Using a nitrogen and oxygen isotopic approach. Environmental Science & Technology, 44: 1573-1578
- Liu CQ, Li SL, Lang YC, et al. 2006 Using ^{15}N and ^{18}O values to identify nitrate sources in karst groundwater, Guiyang, Southwest China. Environmental Science and Technology, 40: 6928-6933
- Vitousek PM, Aber JD, Howarth RW, et al. 1997 Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. Ecological Applications, 7: 737-750
- World Health Organization (WHO). 2008 Guidelines for Drinking Water Quality (3rd ed.) [EB/OL]. [2009-10-11]. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf

作者简介 岳甫均, 男, 1985年生, 硕士研究生。主要从事河流地球化学和流域生物地球化学循环研究。E-mail: junyuefu@163.com

责任编辑 魏中青