

环境调查

对圆明园农业区地下水氮污染状况的调查和探讨*

江 德 爱 唐 懿 达

(北京大学地理系)

一、圆明园农业区地下水及作物基本情况

地下水 从调查和钻孔资料分析, 4—7 米为砂砾层, 是良好的含水层; 二层水、三层水分别在 20 多米和 50 多米左右 (表 1)。据

表 1 一亩园某井孔柱状图

层底深度 (m)	岩层厚度 (m)	岩层名称
1.50	1.50	人土填土
2.80	1.30	粘砂砾石
7.11	4.31	砂砾石
8.16	1.05	粘砂
14.21	6.05	粉砂
21.50	7.29	砂粘
25.31	3.81	细粉砂
30.50	5.19	砂砾石
38.6	7.66	粘土
62.45	24.29	砂砾石
68.36	1.70	粘砂砾石
84.76	16.40	砂砾石

当地居民反映, 二层水在农业旺季时经常枯竭, 而一层水则水量丰富, 全年不衰。地下水基本流向是从西向偏东南。民用压水井深约 6—7 米, 井水多数无色、无嗅、无味, 邻近污水沟的一些井水有异味, 取出贮放后出现混浊等。

作物及灌溉情况 本区大部分为莲藕、水稻等水生作物, 小部分为蔬菜、玉米等旱作, 主要靠地表水灌溉, 而地表水均不同程度地被污水所污染, 如一亩园污水泵站的出口污水, 每天以约 2000 方量注入灌渠后从西到东横贯本区注入万泉河, 是本区的主要灌溉渠

之一。

二、圆明园附近农业区地表 (污) 水、地下水各种氮形态的含量

1. 地表 (污) 水含氮情况

对一亩园污水泵站出口处及其下游地表 (污) 水、琼岛瑶台、福缘村、双鹤斋村东、福海西等 7 个有代表性的地表 (污) 水作了 10 次分析, 分析结果见表 2。

从表 2 可知, 地表 (污) 水四种氮形态的含量范围分别为:

氨氮 3.1—34.0ppm 有机氮 1.5—4.7ppm
硝态氮 ≤ 0.15 ppm 亚硝态氮 ≤ 0.33 ppm
即以氨氮为主, 有机氮次之, 硝态氮和亚硝态氮含量很低。

2. 地下水含氮情况

测定 30 口居民压水井和机井, 其中 26 口是潜水, 其它四口是二层水和三层水, 分析结果见表 3。列表时根据样井周围环境条件, 30 个样井分为三种类型

L 型 (7 口) 邻近 50 米内为居民点、旱地作物的水井

W₁ 型 (9 口) 邻近 50 米内为水稻田或水渠 (毗邻水稻田) 的水井

W₂ 型 (14 口) 邻近 50 米内为污水渠、藕池塘的水井。

表 3 表明: 三种类型的地下水井在含氮量方面存在着明显的规律性。

(1) 硝态氮

* 本系毕业生牛亚菲、艾素珍、宋连法、杨丽萍等参加了工作。

表 2 地表(污)水含氮情况

水样号	取样时间	取样地点	硝态氮	氨 氮	亚硝态氮	有机氮	pH	Eh
31	81.10	一亩园污水泵站出口污水						
	第一次		<0.1	34.0	0.332	4.70	7.63	368
	81.10	第二次	<0.1	20.0	0.006	1.50	7.14	386
	83.7	第三次	0.152	12.0	0.015	2.10	7.55	369
32	81.10	一亩园污水泵站附近污水塘	<0.1	14.5	0.084	4.2	8.20	374
33	83.7	福缘村南水渠 (一亩园污水泵出水口下游 1600 米处)	0.210	5.4	0.068	1.70	7.85	420
34	82.6	琼岛瑶台水渠	0.140	3.1	0.014	1.80	8.15	—
35	82.6	福缘村西水渠						
	第一次		0.100	5.0	0.0172	2.5	8.08	—
	82.6	第二次	0.110	6.7	0.005	—	—	—
36	83.4	双鹤斋村东水渠	0.100	4.6	0.013	2.80	7.81	—
37	83.6	福海西水渠	0.150	6.9	0.005	—	—	—

注: 各组分的测定方法

氨氮: 氨敏电极法, 其检测下限为 0.2 ppm

有机氮: 凯氏法消解后蒸馏出 NH_3 , 用氨敏电极法间接测定有机氮

亚硝态氮: 重氮-偶氮化分光光度法

硝态氮: 1981 年用硝酸根电极法, 检测下限为 0.1 ppm; 1982、1983 年用二磺酸酚分光光度法。

L 型 7 口样井中有 4 口超标, 占 57%;

W_1 型 9 口样井中 <1 ppm 的 8 口, 占 89%; 1.19 ppm 的一口占 11%;

W_2 型 14 口样井中 <1 ppm 的 6 口, 占 43%; 1—6.3 ppm 的 8 口, 占 57%。

规律性 所有超标井都属于 L 型, 而所有 W_1 型样井含硝态氮量均在 1ppm 左右, 充分说明硝态氮在地下水中的积累与否与土地利用情况密切相关。

(2) 氨氮

30 口样井中, 24 口都在 0.2 ppm 以下, 其它 6 口含量较大, 最大者达 3.2 ppm, 为饮用水允许含量 (0.02 ppm) 的 160 倍。

规律性: 氨氮含量较大的 6 口井都属于 W_2 型井, 占 W_2 型井的 43%。充分说明污水对地下水氨氮含量的影响。

(3) 亚硝态氮

表 4 为三种类型井水中亚硝态氮含量的比较。

从表 4 可知: L 型和 W_1 型地下水, 其亚硝态氮含量均在 10^{-2} 或 10^{-3} ppm 级或更小 (有两口未检出); W_2 型地下水, 亚硝态氮含量大多数在 10^{-2} 、 10^{-3} ppm 级水平, 但有两个达到 0.160 和 0.116 ppm。

规律性 总的来说, 亚硝态氮在地下水中的含量很小, 说明 NO_2^- 作为硝化作用和反硝化作用的中间产物, 其主要动态是转化大于积累, 但 W_2 型井水由于受污水厌氧条件影响, 相对来说含量要高些。

三、三种不同类型地下水三氮含量的探讨

1. 有机氮不论在好氧还是厌氧条件下,

表 3 地下水各含氮组分测定结果(除 E_h 、pH 外,均为 ppm)

水样号	取 样 地 点	附 近 情 况	所属类型	$Z_{NO_3^-}$	$Z_{NH_4^+}$	$NO_3^- - N$	$E_h(mV)$	pH	Cl^-
1	朱房村	周围为旱地民房	L	0.69	<0.2	0.0056	388	7.40	53.9
2	福缘乙 73 号	周围几十米为住房	L	28.00	<0.2	0.0036	—	7.61	84.3
3	福缘 73 号	同上	L	13.90	<0.2	0.0009	396	7.43	86.1
4	福缘 72 号 22 米	同上	深 L	14.40	<0.2	0.0086	392	7.58	50.2
5	圆明园东园	同上	L	15.00	<0.2	0.0374	393	7.33	211.8
6	二河开	东南为鸭场其它方向为住房	L	1.12	<0.2	0.0134	390	7.22	173.8
7	圆明园管理处(60 米深井)	民房	深 L	1.15	<0.2	未检出	362	7.80	21.0
8	琼岛瑶台	东、东南为水渠水田	W_1	0.15	<0.2	0.0045	—	7.56	—
9	双鹤斋 58 号	东为水渠、水田	W_1	0.26	<0.2	未检出	—	7.39	—
10	厢白旗 1 号	东、西均为水田	W_1	0.90	<0.2	0.0156	393	7.48	—
11	厢白旗 2 号	西、北、南均为水田	W_1	1.19	<0.2	0.0614	388	7.37	—
12	六廊庄(3)	三面为水田	W_1	<0.1	<0.2	0.007	—	7.18	—
13	六廊庄(4)	东为水田	W_1	0.17	<0.2	0.010	—	7.26	—
14	六廊庄(5)	东为水田	W_1	<0.1	<0.2	0.007	—	7.22	—
15	六廊庄(6)	南为水渠、水田	W_1	<0.1	<0.2	0.001	—	7.14	—
16	福海	东为水渠、水田	W_1	0.39	<0.2	0.006	—	7.35	66.1
17	双鹤斋西 2	西为污水渠	W_2	0.12	<0.2	0.160	—	7.32	97.7
18	双鹤斋西 3	西为污水渠	W_2	0.20	<0.2	0.0078	—	7.53	81.1
19	圆明园 137	东、西、南、东北均为藕塘	W_2	0.22	0.54	0.0078	370	7.34	78.5
20	福缘西 1	东为污水渠西为沅肥坑	W_2	1.66	<0.2	0.0304	396	7.31	87.3
21	福缘 52 号	西为污水渠	W_2	7.00	<0.2	0.1160	391	7.33	86.2
22	福缘西电井(60米)	北、西为污水沟	深 W_2	1.18	<0.2	0.004	—	7.69	35.5
23	圆明园西大地 100 号	西为污水渠	W_2	0.12	3.2	0.0013	—	7.40	56.0
24	圆明园西大地 100 号(13米)	同上	深 W_2	1.93	3.2	0.012	—	7.63	47.8
25	圆明园 25 号	距藕塘 15 米	W_2	0.035	0.32	0.028	398	7.48	84.0
26	一亩园 3	距水泵污水 15 米	W_2	1.60	2.7	0.023	311	7.20	—
27	一亩园 4	距水泵污水 21 米	W_2	2.70	<0.2	0.005	395	7.43	—
28	一亩园 5	距水泵污水 29 米	W_2	5.00	<0.2	0.006	405	7.32	—
29	一亩园 6	距水泵污水 40 米	W_2	6.30	<0.2	0.003	405	7.40	—
30	一亩园 7	污水坑西侧	W_2	<0.1	0.32	0.009	217	7.10	—

表 4 不同类型井水 $NO_3^- - N$ 含量统计表

井所属类型	$NO_3^- - N$ 含 量					
	$\leq 10^{-3} ppm$		$\sim 10^{-2} ppm$ 级		$\sim 10^{-1} ppm$ 级	
	井 数	所占%	井 数	所占%	井 数	所占%
W_1	6	67	3	33	0	0
W_2	8	57	4	29	2	14
L	5	71	2	29	0	0

其分解产物均为 NH_4^+ , 氨态氮容易被土壤吸附, 它在土壤中是否转化为硝态氮, 与土壤的通气状况(包括土壤含水量)、有机物含量、土壤微生物、土壤温度等密切相关。据认为^[2] 硝化作用最合适的土壤含水量为 15—20%, 含水量高的土壤阻碍了氧在土壤内的扩散, 则不利于硝化作用。旱作土壤含水量一般较低, 菜地施肥量又较多, 尤其夏、秋气温高的季节更有利于氨态氮的消化, 容易引起 NO_3^- 在土壤中的积累, 因而影响地下水。附近居民点的粪坑渗漏也是影响地下水 NO_3^- -N 含量的主要原因。在我们的调查结果中, L 型的水井, NO_3^- -N 超标率达 57%, 已说明了问题。

2. 水稻田的情况与旱作地和居民点有很大不同。水稻田休耕时或放水晒田时, 土壤含水量低, 有利于硝化作用。水稻田灌水后, 可能有一部分 NO_3^- 随重力水淋至地下水, 但土壤浸水期间, 据认为^[2] 表土层(约 1 cm)为氧化层, 可以进行硝化作用, 而表土层以下的土壤与大气氧的接触被水层阻隔, 不利于硝化作用, 相反, 可溶性有机物的分解致使土壤 En 降低, 使反硝化细菌生长繁殖, 有利于反硝化作用, 而反硝化作用的物质前提是氮以 NO_3^- 形式存在。总之, 水稻田的干湿交替以及水稻土壤表层氧化层与其下的还原层的分异都使硝化-反硝化作用可以交替或连续进行, 因而在土壤内难于积累大量 NO_3^- , 相应的地下水 NO_3^- 含量也就较低。

为说明水稻田浸水时期由于反硝化作用引起的 NO_3^- -N 损失, 举王永华等做过的实验: 土壤和 100 ppm NO_3^- -N 溶液, 以 1:1 比例混合后浸泡 8 天, 浸泡液中 NO_3^- -N 含量随浸泡时间而递减(见表 5)。

结合我们的调查, W_2 型地下水中 NO_3^- -N 含量绝大部分在 1ppm 以下, 说明了水稻田中上述各种作用的总效果。

3. W_2 型地下水井, 则又是另一种情况。污水中有机氮的分解消耗氧, 造成了厌氧条

件, 含 NH_4^+ 量又很高(表 2), 使长期与其接触的土壤处于厌氧和 NH_4^+ 饱和状态, 土壤中的 NH_4^+ 既已达吸附饱和, 又无硝化作用进行的好氧条件, 因此造成其邻近地区地下水中 NH_4^+ 的积累。这种类型的地下水, 其含氮形态应该说主要是受污水渠的厌氧条件和 NH_4^+ 含量高所制约的。

表 5 土壤*的 NO_3^- 浸泡液中 NO_3^- -N 含量随时间的变化

浸泡时间	浸泡液 NO_3^- -N 量 (ppm)	浸泡液 NO_3^- -N 降低量 (ppm)	浸泡液 NO_3^- -N 降低 (%)
立即测定	120	—	—
2 天	118	2	1.7%
4 天	108	12	10%
6 天	92	28	23%
8 天	55	65	54%

* 该土壤有机质含量为 1.66%。

4. NO_3^- 的侧向迁移

有关 NO_3^- 在土壤中的垂直迁移及对地下水 NO_3^- 的影响已作过讨论^[3]。下面根据调查结果, 讨论 NO_3^- 的侧向迁移问题。

表 6 地下水 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N 含量与距污水源的关系

水样点号	采样地点	与污水源距离 (m)	$\text{Z} \cdot \text{NO}_3^-$	$\text{Z} \cdot \text{NH}_4^+$	$\text{Z} \cdot \text{NO}_2^-$
31	一亩园泵站污水 (三次平均值)	0	<0.1	22	0.118
26	污水泵东南水井	~15	1.6	2.7	0.023
27	污水泵东南水井	~20	2.7	<0.2	0.005
28	污水泵东南水井	~30	5.0	<0.2	0.006
29	污水泵东南水井	~40	6.3	<0.2	0.003

William C. 等 (1979) 曾提出^[4]: 土壤 NO_3^- -N 含量随深度而降低, 部分原因是侧向迁移造成的。R. B. Beneau^[5] 认为, NO_3^- -N 含量与污染源距离有关。我们对一亩园污水泵站东南方向的地下水作了调查, 发现 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N 的含量与污水塘的距离呈规律性变化, 结果见表 6, 图 1。

紧邻污水源的地下水受污水厌氧条件和 NH_4^+-N 含量的影响, NO_3^--N 含量很低, 随着与污水源距离的增加, 厌氧程度降低, 土壤中硝化细菌开始起作用, NO_3^--N 含量在土壤中也随距离而增加, 除随重力水垂直迁移至地下水外, 还沿地下水流向作侧向迁移, 使地下水中 NO_3^--N 含量随污水源距离在一定范围内 (本例为 40 米) 递增, 而 NH_4^+-N 和 NO_2^--N 含量则递减。

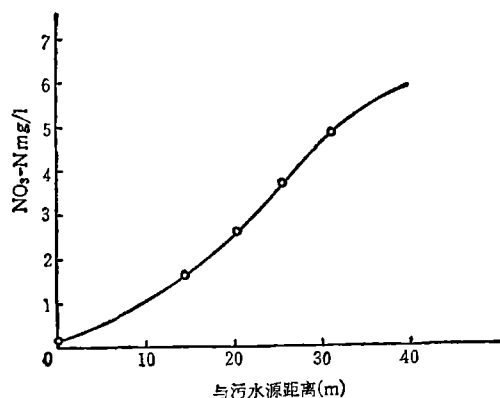


图 1 地下水 NO_3^--N 随污水源距离的变化图

四、几点看法

1. 污灌对地下水氮的污染

30口样井中, NO_3^--N 超标率为 13%, 而且都出现在 L 型井中, 显然 L 型井受污灌、施肥和居民的生活污染。W₂ 型样井 NO_3^--N 含量比 W₁ 型要大, 但都未超标 (最高达 6.3ppm NO_3^--N), 说明该区地下水受污灌的影响比大量施化肥以及居民点粪坑渗漏等的影响要

小。

从含 NH_4^+ 量看, 五个含量较高的样井都集中在 W₂ 型井中, 说明污灌和污水渠对 NH_4^+ 的影响不可忽视, 不能仅仅注意硝酸盐的污染问题。

2. 生活污水的利用

生活污水中主要的氮形态为 NH_4^+ , 其含量从 nppm 至 $(n \times 10)$ ppm。以一亩园较典型的生活污水含 NH_4^+ 约 20 ppm 计算, 如每亩灌溉 100 方生活污水, 则从污水加入的氮肥相当于 26 斤/亩 NH_4HCO_3 肥料。如能合理污灌, 这些可观的氮肥源是利的一面; 但若过量, 势必影响地下水, 而且带来病原菌和异味。如何利用利的一面防止有害的一面值得研究。

3. 从水稻田对相应的地下水 NO_3^- 污染相对较轻, 从这点来看, 浸水土壤不利于硝化作用而有利于反硝化作用。反硝化作用导致氮肥的损失, 其产物进入大气对环境不利。因此有必要探讨反硝化作用的机制, 达到既有利于农业又有利于环境的目的。

参 考 文 献

- [1] Tebutt, T. H. Y., Principle of Water Quality Control, 2nd edition, P40, Pergaman Press, Oxford, 1977.
- [2] 陈华葵, 土壤微生物学, 上海科技出版社, 1981年。
- [3] 江德爱等, 环境科学, 4(3), 29—34(1983).
- [4] William C. Liebhardt et al., J. Environ. Qual., 8(2), 211 (1979).
- [5] Beneau R. B. et al., J. Environ. Qual., 6(2), 173 (1977).

• 学术活动 •

《第二松花江水体汞污染特征及控制途径》《巯基棉富集分离技术的建立及其在环境分析化学中的应用研究》成果通过鉴定

中国科学院环境科学委员会组织同行专家对中国科学院长春地理研究所两项科研成果进行评议, 于 1984 年 6 月 13 日通过鉴定。

第二松花江水体汞污染特征及控制途径的研究工作始于 1973 年 6 月, 10 年中通过大量的现场和野外调查及实验室模拟实验, 证明了二松水体可在

轻度和中度污染水平上, 主要通过自然净化过程逐渐消除已经受到的汞污染, 提出了沉积物中汞以自然净化过程为主的控制途径。参加评议的同行专家认为, 该成果从资料的完整性、研究内容的系统性、研究方法的综合性、理论联系实际的应用性等方面, 具有特色和独特的见解, (下转第 51 页)