

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2010.05.008

位山灌区农业活动对地下水水质的影响

唐莉华¹,雷慧闽¹,刘新兵²,赵洪阳¹

(1.清华大学水利系,北京 100084;2.位山灌区管理处,山东 聊城 252000)

摘要:为了研究位山引黄灌区农业活动对地下水的污染情况,采取点面结合方式对灌区地下水水质状况进行调查,分析地下水中氮、磷的质量浓度,并根据地下水评价标准进行单指标的水质评价。结果表明,位山灌区的地下水水质有 30% 左右劣于Ⅲ类水质标准,呈现逐年恶化趋势。由于灌区地势平缓,土壤水分以垂向运动为主,灌区地下水中氮素质量浓度受农田灌溉及施肥等农业活动的影响比较显著,近年来地下水中氮素质量浓度有所增加。指出通过灌溉渗漏和排水进入地下水的农业施肥可能是该区域的地下水中氮素逐年累积的主要原因。

关键词:位山引黄灌区;地下水水质;农业非点源污染

中图分类号:X592 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-6933(2010)05-0033-05

Impacts of agricultural activities on ground water quality in Weishan irrigation district

TANG Li-hua¹, LEI Hui-min¹, LIU Xin-bing², ZHAO Hong-yang¹

(1. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Weishan Irrigation District Management Office, Liaocheng 252000, China)

Abstract: In order to investigate the groundwater pollution status caused by agricultural activities in the Weishan irrigation district along the Yellow River, a water quality survey was carried out using the point-area combined method. The nitrogen and phosphorus concentration of the groundwater samples were measured and analyzed, and the water quality was assessed according the Quality Standards for Ground Water using the single-index method. The results showed that nearly 30% of the groundwater quality was worse than the level Ⅲ water standard, and the groundwater showed an obvious trend of deterioration year by year. Because of the plain geomorphology, the soil water mainly moved vertically. The nitrogen concentration in the groundwater was affected by irrigation and fertilization remarkably, and increased in recent years. Nitrogen leaching through irrigation and vertical drainage might be the major reason for the nitrogen accumulation in groundwater.

Key words: Weishan irrigation district along Yellow River; ground water quality; agricultural non-point source pollution

水环境恶化已经成为中国尤其是北方地区的重大生态环境问题。很多研究^[1-3]表明,农业非点源污染是造成水质恶化的主要原因之一,而过量使用化肥则是导致农业氮素流失及水环境污染的重要因素。为了追求高产,我国化肥施用量普遍偏高,根据 2005 年的统计,单位面积施用量达 306.5 kg/hm²,而平均利用效率却只有 30%~40%,每年通过降雨径流或淋溶损失的化肥量占施用量的 40% 左右,因此农业施肥对水环境存在很大的威胁^[4-5]。

我国南方地区地表径流丰富,过量的化肥氮素通过地表径流进入湖泊水库,是导致地表水富营养化的重要因素,近年来太湖流域出现的蓝藻大面积暴发现象,农业非点源污染作为其重要因素而备受关注。而对于北方地区,尤其是农业活动发达的北方灌溉区,大量施用化肥和农业灌溉则是导致 NO₃⁻-N 淋溶损失和地下水污染的主要原因^[2]。很多研究^[6-7]表明,农业区地下水中硝酸盐浓度与施肥量和灌溉量(含降水量)有很好的正相关关系,长期使用氮肥

的地区 地下水含氮量在逐年增高。为了研究位山引黄灌区农业灌溉和施肥对地下水质的影响 ,从 2005—2008 年开展了位山灌区的地下水水质监测和评价 根据水质分析结果对其时空分布规律和变化趋势及原因进行了分析。

1 位山引黄灌区概况

位山引黄灌区位于中国山东省聊城市 ,是黄河下游最大的引黄灌区 ,也是中国第 5 大灌区 灌区土地总面积约 5734 km² ,设计灌溉面积 3600 km²。灌区属黄泛冲积平原区 地处暖温带半干旱季风气候区 ,平均气温在 12.8 ~ 13.4℃ 之间 ,多年平均降雨量为 557 mm。灌区地势西南高东北低 ,地貌相对较为复杂 岗、坡、洼相间分布 土壤以轻壤土和砂壤土为主。位山灌区的主要作物有冬小麦、夏玉米、棉花等。全区主要采用冬小麦和夏玉米复种轮作制、冬小麦和棉花套种 2 种植方式 ,部分地区种植有少量经济作物(瓜果蔬菜类作物)。

灌区范围内的地表水系包括贯穿其中的徒骇河和马颊河 2 条自然河流 ,及分布灌区内的总干渠、一干渠、二干渠、三干渠等主要输水渠道 ,见图 1 所示。徒骇、马颊河属于雨源型河道 ,径流量较小 ,并且由于城镇生活污水和工业废水排放及农业灌溉施肥的影响 ,区域内水体污染严重。据聊城市 2007 年公布的第 2 季度水质状况通报 ,全市 10 个水质监测河段中 水质为劣 V 类的有 9 个 ,占总评河段的 90%。徒骇河和马颊河均受到污染 ,徒骇河下游尤甚 ,7 个

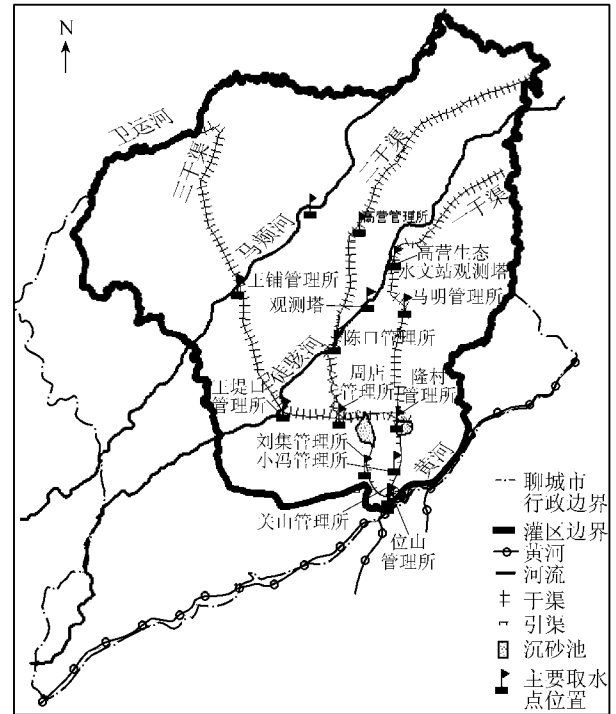


图 1 位山灌区位置及主要取样地点

监测断面水质均为劣 V 类。

灌区内地下水浅层淡水面积较大 ,沙层厚。东南部、中上游的地下水埋深较浅 ,一般在 3 m 以内 ,容易受到污染 ;东北部、北部的地下水埋深较大 ,西部地下水埋深一般在 8 ~ 20 m ,局部大于 20 m ,水质较好^[9]。作为我国农产品生产的骨干基地之一 ,灌区内的农业活动十分频繁 ,尤其是灌溉和施肥 ,如果过量或者方式不合理 肥料通过灌溉渗漏和排水进入水体 ,则可能造成对地下水的非点源污染。而这些农业非点源污染对水质的影响 ,尤其是对地下水的影响通常具有一定的潜伏性和滞后性 ,往往不被人们所重视。

2 研究方法和手段

采用定点取样调查和面上普查相结合的方式 ,研究灌区内地下水受农业非点源污染的状况及其变化趋势。定点观测的观测井位于清华大学 2005 年建立的位山灌区高营生态水文观测站内 ,距聊城市区约 30 km ,周围是成片农田 ,下垫面条件均匀 ,具有很好的代表性。从 2005 年开始进行调查和观测 ,作物生长期间每隔两周取 1 次水样 ,带回室内实验室进行水质化验 ,并对其变化趋势及成因进行分析。为分析水质空间分布规律 ,采取面上普查方式 ,根据灌区内的地形地势及水系分布等条件 ,按照尽可能均匀分布的原则设计普查路线 ,每次采样点约 70 个 ,除图 1 标出的各灌区管理站附近的重要取样点之外 ,3 个灌溉沿线还有若干取样点。借助手持式 GPS 仪定位 ,采集地下水水样带回实验室 ,利用美国哈希公司生产的 DR2800 分光光度计进行水质分析。水质分析项目主要包括 TN、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 和 TP 等。

为了了解灌区地下水水质的空间分布状况 ,2007 年 3 月、4 月、7 月及 11 月分别进行了全灌区范围内的地下水水质调查 ,主要取样点的分布见图 1 ,取样点包括民用水井和农业灌溉井 ,取水样共约 280 个 ,带回实验室分析化验 TN、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 和 TP 等项目 ,结果统计如表 1。

表 1 2007 年灌区内地下水水质分析结果 mg/L

日期	项目	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$	$\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$	$\rho(\text{TP})$
03—31	平均值	2.0	1.2	0.32	0.42
	最大值	22.2	10.2	3.50	2.00
	最小值	0.0	0.0	0.00	0.00
04—28	平均值	1.6	1.0	0.17	0.37
	最大值	18.4	4.1	1.40	0.60
	最小值	0.0	0.0	0.00	0.20
07—28	平均值	1.7	0.8	0.22	0.34
	最大值	4.0	3.1	0.70	0.70
	最小值	0.0	0.0	0.00	0.00
11—14	平均值	3.1	0.7	0.27	0.39
	最大值	31.5	3.9	3.00	1.08
	最小值	0.0	0.0	0.00	0.05

灌区内地下水相对地表水更为稳定,受季节影响较小,因此可利用地下水水质随时间的变化来分析该区域地下水环境的时间变化趋势。采用高营观测井 2005—2008 年的地下水观测数据进行地下水水质随时间变化规律分析。由于地下水中磷浓度较小,只对氮素进行分析。

3 分析与讨论

3.1 地下水水质的空间分布规律

利用水样分析得到地下水 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N 水质指标的各项特征值(表 1)根据 GB/T14848—9《地下水质量标准》进行水质评价,结果见表 2。由表 2 可

见,该地区地下水中 NH_4^+ -N 质量浓度较高,超过 III 类水质标准(不可饮用)的比例约为 30%。

表 2 单指标法评价各类别水质所占比例					%
水质指标	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
NO_3^- -N	92.1	6.7	1.2	0.0	0.0
NH_4^+ -N	15.1	27.1	29.5	17.5	10.8

根据 4 次水质调查分析结果,利用 GIS 软件中的反距离权重插值方法,绘出灌区地下水中 NO_3^- -N 质量浓度的等值线分布图(图 2)。由图 2 可以看出,地下水中 NO_3^- -N 质量浓度高值区一般位于灌区的中上游,这些区域的地下水水位较浅,属于易污染区,容易受到地表污水排放及农业化肥淋溶等影响。

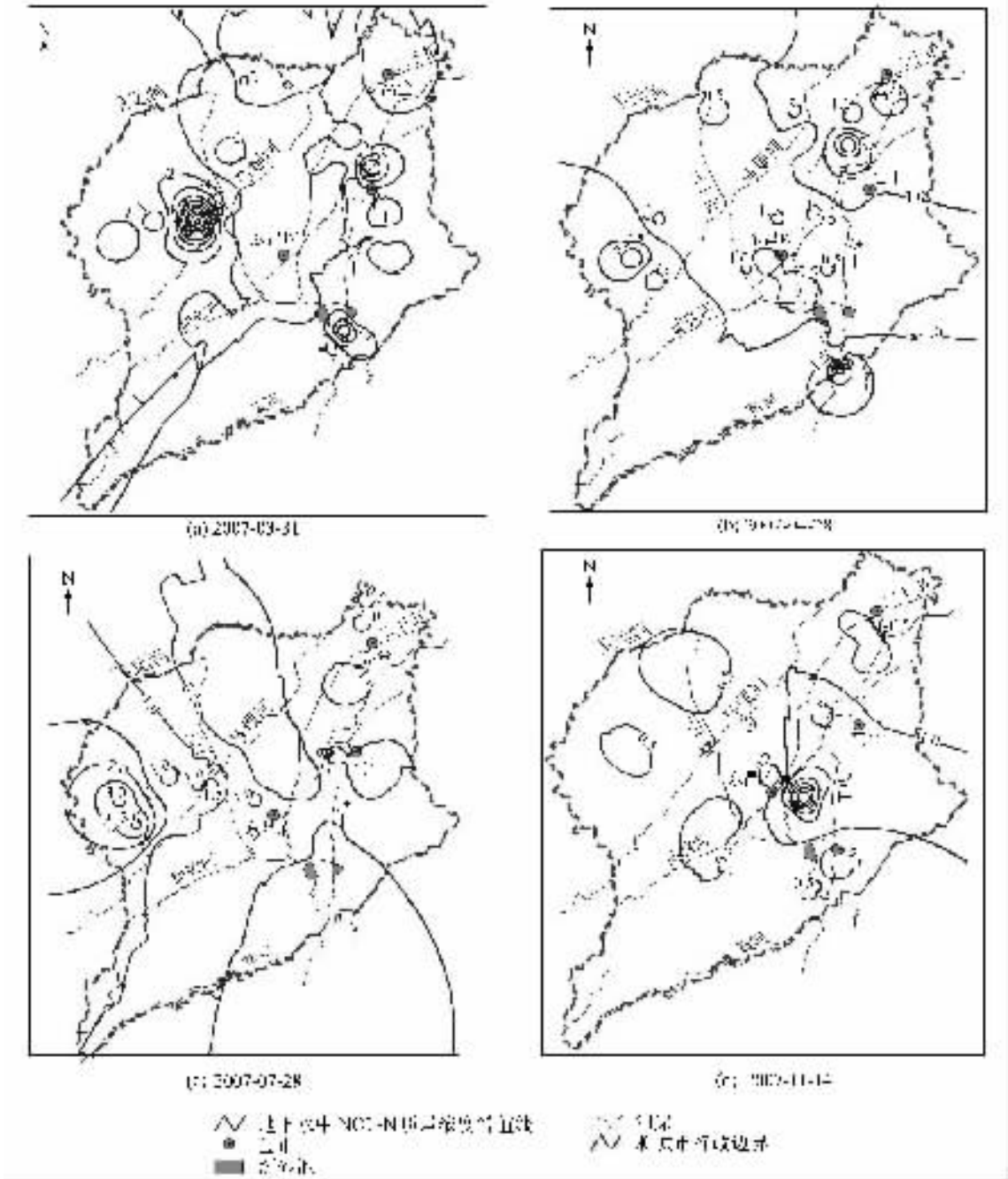


图 2 灌区地下水中不同时间 NO_3^- -N 质量浓度的空间分布等值线(单位: mg/L)

其他指标(TP、TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$)的空间分布规律与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的分布类似 ,限于篇幅 ,文中只给出地下水水质评价中最常用的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度空间分布。

灌区内地势较为平缓 ,由西南部高程 50 m 左右 ,逐渐过渡到东北约 20 m ,加上灌区内田埂遍布 ,降雨或灌溉水主要以垂直运动为主。由于灌区中上游的地下水埋深较浅 ,土壤渗透性好 ,因此地下水容易受到地表污水及施肥灌溉渗漏的影响。而下游的地下水埋深较大 ,多在 20 m 左右及以上 ,地表污染物经过土壤层的吸附和过滤 ,不容易到达地下水 ,因此受到地表污染影响的程度相对较弱。

3.2 地下水水质的时间变化规律

3.2.1 年内变化规律

2005—2008 年高营观测点地下水中氮的素质量浓度变化趋势见图 3。由图 3 可见 ,高营观测点的 TN 呈现增加趋势 ,确定性系数 R^2 为 0.78 ,通过显著性水平 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的增加趋势不明显 ,但是表现出一定的季节性。

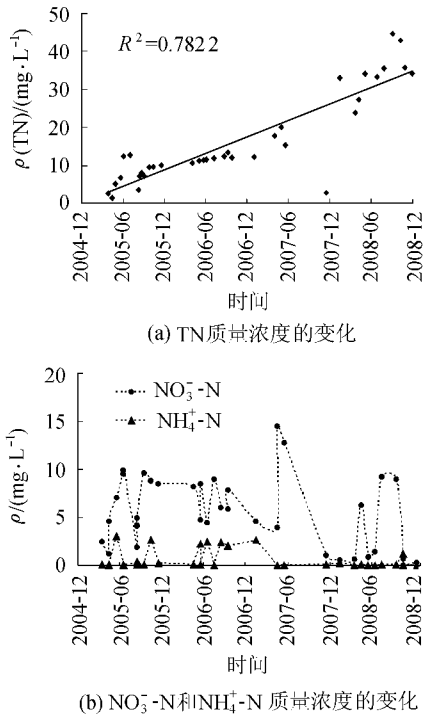


图 3 高营地下水中氮质量浓度的变化趋势

表 3 是根据 2007 年调查分析的地下水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 3 项指标 ,采用模糊数学综合评价方法得到的水质类别 ,不同时间的结果在一定程

表 3 不同月份地下水各类水质所占比例 %

月份	I 类	II 类	III 类	IV 类	总计
3	38.64	27.27	15.91	18.18	100
4	59.10	9.09	11.36	20.45	100
7	19.44	47.23	19.44	13.89	100
11	2.44	46.34	29.27	21.95	100

度上反映了地下水水质的年内变化。由表 3 可见 ,相对于其他月 ,4 月区域内地下水水质情况较好 ,出现 I 类水的比例接近 60%。7 月和 11 月的地下水中 I 类水的比例比 3、4 月份明显偏低。

图 4 是 2005 年和 2006 年高营观测井中地下水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的观测数据 ,可以看出 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的季节性变化较为明显 ,高值多出现在 6—7 月和 9—10 月 ,这跟该地区的玉米和冬小麦种植时间比较一致。而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的季节性变化规律不明显 ,可能与土壤对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的吸附性强等因素有关。

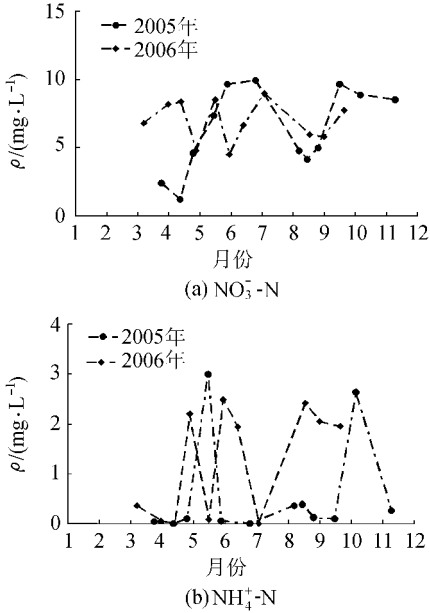


图 4 2005、2006 年高营站地下水中氮素质量浓度季节性变化

冬小麦一般在 10 月中上旬播种 ,次年 2 月下旬起开始返青 ,5 月中旬灌浆 ,6 月上旬收割。夏玉米在小麦收割前 10 天左右播种 ,9 月上旬收割。在冬小麦播种前施加底肥 1 次 ,在返青期和灌浆期施加追肥各 1 次 ,配合施肥进行灌溉。夏玉米以施追肥为主 ,一般在大喇叭口期(7 月底)前后施加。因此灌区集中施肥时间大约在 2 月下旬至 3 月初、5 月中下旬、7 月下旬及 10 月上旬。灌区土壤以轻壤土和砂壤土为主 ,渗透性好 ,同时灌区内尤其是灌区中上游的地下水埋深一般较浅 ,肥料氮素在灌溉或雨水的运移作用下很快就能进入地下水。因此地下水中氮素较大值的出现很可能与灌溉、施肥以及秸秆还田等农业措施关系较大。

3.2.2 年际变化规律

由图 3(a)可以看出 ,地下水中的氮素质量浓度呈现逐年增加的趋势。鉴于本次观测的年份较短 ,不足以分析变化趋势 ,采用聊城市位山灌区管理处 1990—2000 年的水质调查数据(图 5(a))分析 ,可见聊城全市地下水中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量浓度也呈现出增

加趋势, 确定性系数为 R^2 为 0.5, 通过显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 年增长速率约 0.2 mg/L 。而根据本次调查分析得到的高营站 2005—2008 年地下水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量浓度推算(图 5(b)), 近年来灌区内地下水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量浓度的年增长量超过 1.5 mg/L 。

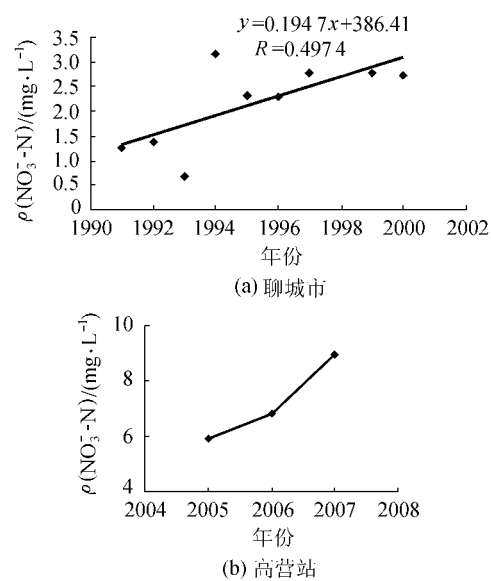


图 5 地下水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量浓度及其变化趋势

通过调查近年来位山灌区的农业施肥量, 得到大体数据如下: 2005 年折纯氮施用量小麦为 $375 \sim 400 \text{ kg/hm}^2$, 玉米为 $225 \sim 300 \text{ kg/hm}^2$, 年总量达 $600 \sim 700 \text{ kg/hm}^2$, 这远高于 2005 年统计的全国氮肥施用的平均水平 306 kg/hm^2 , 以及世界公认的上限 225 kg/hm^2 。由于当季作物对氮肥的利用率只有 $30\% \sim 50\%$, 大部分的肥料都残留在土壤中, 并随着向下运动的土壤水分逐渐运移到地下水中。由此分析认为, 该地区地下水中氮素质量浓度的累积趋势可能与农业灌溉、施肥等措施有关。

4 结 论

笔者开展了点面结合的位山灌区地下水水质调查, 根据水质化验结果对灌区内的地下水水质进行了分析评价, 结果表明, 该区域的地下水水质状况不容乐观, 且呈现逐年恶化趋势, 聊城市地下水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 平均质量浓度的年增长量为 0.2 mg/L , 而高营观测点的地下水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量浓度的年增长速度在 2005—2007 年期间达到了 1.5 mg/L 。从年内观测数据分析看出, 灌区内地下水水质受农业灌溉和施肥措施的影响比较明显, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度高值多出现在 6 月、7 月和 10 月, 与冬小麦和夏玉米的种植活动有较好的相关关系。由于灌区地势平缓, 土壤水分以垂向运动为主, 通过降雨、灌溉渗漏和排水进入地

下水的农业施肥可能是该区域地下水中氮素逐年累积的主要原因。今后将利用数学模型对施肥灌溉条件下土壤及地下水中氮素的迁移转化进行模拟, 以便更清楚地论证和掌握灌区农业活动对地下水环境的影响。

参考文献:

- [1] 仓恒瑾, 许炼峰, 李志安, 等. 农田氮流失与农业非点源污染[J]. 热带地理, 2004, 24(4): 332-336.
- [2] 吕耀. 农业生态系统中氮素造成的非点源污染[J]. 农业环境保护, 1998, 17(1): 35-39.
- [3] 张庆忠, 陈欣, 沈善敏. 农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 233-238.
- [4] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 656-660.
- [5] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策. 1. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [6] 胡春胜, 程一松, 于贵瑞. 华北平原施氮对农田土壤溶液中硝态氮含量的影响[J]. 资源科学, 2001, 23(6): 46-48.
- [7] 李世清, 李生秀. 半干旱地区农田生态系统中硝态氮的淋失[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 240-242.
- [8] 曹仁林, 贾晓葵. 我国集约化农业中氮污染问题及防治对策[J]. 土壤肥料, 2001(3): 3-6.
- [9] 武瑞锁. 引黄灌区泥沙和盐渍化问题预防与处理方法研究[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2005.

(收稿日期 2009-09-28 编辑 徐 娟)

· 简讯 ·

南水北调东线工程一期治污项目完成率过九成
截至 2010 年 9 月, 南水北调东线工程一期治污项目 426 项治理项目已全部开工, 已经完成 399 项, 完成率 94%。

据了解, 东线沿线主要污染物排放总量大幅削减, 2006 年较规划前 COD 、 NH_3 浓度均削减了 80% 以上, 在此基础上, 2008 年较 2006 年 COD 和 NH_3 的入河量又分别削减了 52.7% 和 74.2%, 污染物排放总量基本达到或接近目标控制总量, 输水干线沿线水质和生态环境得到持续改善。2010 年 2 季度, 黄河以南 36 个考核断面中, 达标断面 23 个, 达标率为 66%。其中, 江苏省境内输水干线水质已基本达到 III 类; 山东省境内输水干线水质接近 50% 达到 III 类。

在中线水源保护方面《丹江口库区及上游地区水污染防治和水土保持规划》已完成近期投资的 61%, 已建在建水污染防治项目 49 项, 治理水土流失面积 9 967 km^2 。据悉, 为实现水源保护与经济发展双赢, 国家对水源区通过中央财政转移支付实现了生态补偿, 正编制《丹江口库区及上游经济社会发展规划》。目前, 丹江口水库水质为地表水 II 类, 总体保持良好。

(本刊编辑部供稿)