

# 成都平原农区地下水中 $\text{NO}_3^-$ -N 含量变化规律研究\*

赵燮京 赵小蓉 王昌桃

(农业部长江上游农业资源与环境重点开放实验室, 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066)

**摘要** 采用硝酸根电极法对成都平原温江县天府乡农区田间和水井的地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量进行了一年多的连续测定, 探讨了该农区地下水中  $\text{NO}_3^-$ -N 的变化规律和氮肥用量的影响。结果表明: (1) 田间地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量周年变化规律是冬春枯水季较高, 且变幅较大 ( $0.36 \sim 2.62 \text{ mg L}^{-1}$ ), 平均值为  $2.59 \text{ mg L}^{-1}$ ; 夏秋丰水季较低, 且变幅较小 ( $0.84 \sim 5.48 \text{ mg L}^{-1}$ ), 平均值为  $1.10 \text{ mg L}^{-1}$ 。(2) 前作麦季氮肥施用量, 对稻季地下水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量有明显影响, 当前作施纯氮达  $375 \text{ kg hm}^{-2}$  时, 稻季地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量最高达  $34.6 \text{ mg L}^{-1}$ , 其平均值为  $17.97 \text{ mg L}^{-1}$ , 是施纯氮  $150 \text{ kg hm}^{-2}$  平均值  $1.30 \text{ mg L}^{-1}$  的 13.7 倍。(3) 井水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量变化幅度为  $0.14 \sim 16.53 \text{ mg L}^{-1}$ , 3 口井水平均值分别为  $2.54, 3.60, 6.52 \text{ mg L}^{-1}$ , 未超出我国生活饮用水卫生标准, 但明显高于灌溉水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量的平均值  $1.81 \text{ mg L}^{-1}$ 。(4) 地下水水位的高低与井水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量没有线性关系。

**关键词** 地下水; 硝态氮; 变化规律; 施氮量; 成都平原

中图分类号 S143.1<sup>+</sup>3, S273.4

文献标识码 A

由于农田氮肥施用量的增加, 世界范围内的地表水和地下水中的氮化合物含量都在不同程度上呈现上升趋势。美国对非点源污染状况进行的鉴别和测量表明<sup>[1]</sup>: 农业是一个主要的非点状污染源, 农田径流是该国 64% 受污染河流和 57% 受污染湖泊的主要污染源。我国许多地区的地下水也在不同程度上遭受  $\text{NO}_3^-$ -N 污染<sup>[2]</sup>: 长春市地下水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量最高达  $392 \text{ mg L}^{-1}$ , 超标面积为  $126 \text{ km}^2$ ; 西安市及市郊地下水中最高达  $600 \text{ mg L}^{-1}$ , 平均达  $189 \text{ mg L}^{-1}$ , 超标面积  $168 \text{ km}^2$ ; 成都市最高的超标 55 倍。水环境中的氮污染问题在上世纪 60 年代末和 70 年代初曾引起公众关注, 其直接原因是世界上已有不少的婴幼儿由于饮用高含量的  $\text{NO}_3^-$ -N 的污染水后患有高铁血红蛋白症死亡<sup>[1,3]</sup>。因此,  $\text{NO}_3^-$ -N 含量已是衡量水质的重要指标之一<sup>[4]</sup>: 美国规定饮用水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量  $\leq 10 \text{ mg L}^{-1}$ <sup>[1]</sup>; 我国规定  $\leq 20 \text{ mg L}^{-1}$  (GB5749-85)<sup>[5]</sup>。

成都平原是四川省农业的主体区域, 近十多年来, 本区化学氮肥用量相对较高, 年施纯氮平均达  $250 \text{ kg hm}^{-2}$  以上。该区开发利用地下水的情况较为普遍且开采量也较大, 据不完全统计已达  $5.37 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ , 主要用于居民饮用和农业灌溉。据该市

有关监测资料, 成都平原地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 污染有缓慢加重的趋势, 污染面积略有扩大, 有 10% 地区地下水遭受重度污染。Kohl 等<sup>[6]</sup> 认为水源中  $\text{NO}_3^-$ -N 主要以地下水渗滤方式进入, 氮肥是水体中氮污染的最主要来源。为此, 我们于 1998~1999 年对温江县天府乡田间地下水、井水和灌溉水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量进行了一年多的连续测定, 旨在揭示当前成都平原地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量变化规律; 探讨施氮对地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 的影响, 以寻求科学合理的氮肥施用量, 减轻氮肥的淋移渗漏对地下水的污染, 保护地下水资源, 促进该区农业生产的可持续发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试水样及取样方法

**1.1.1 供试水样** 成都市温江县天府乡田间地下水、井水、灌溉水。

**1.1.2 水样采集** 集水管采用 1.5 m 长、直径 ( $\phi$ ) 50 mm 的 PVC 管, 在下部 20 cm 范围内的不同方向分别错位钻直径 5 mm 孔 15 个, 用双层 200 目的尼龙网袋套上, 将袋口用万能胶与 PVC 管粘牢并扎紧, 以防泥沙进入管内。用相应口径土钻钻孔至

\* 四川省应用基础基金项目“成都平原地下水硝态氮污染机理研究”资助

作者简介: 赵燮京(1948~), 男, 江苏南京人, 研究员, 长期从事农业环境保护和水土保持研究

收稿日期: 2002-11-19; 收到修改稿日期: 2003-08-20

100 cm 深(不足 100 cm 深时钻至卵石层), 埋入 PVC 管, 使管壁与周边土壤结合紧密, PVC 管上部粘结直径( $\phi$ ) 50 mm PVC 外丝直接, 并用直径( $\phi$ ) 50 mm 内丝堵头作管盖, 以防异物或昆虫进入。取水样工具用去掉喷头的手动喷雾器改制而成。取样时先抽去陈水, 待地下水重新渗入管内后, 即抽即测, 每个取样点一次取样, 作 3 次重复测定, 平行绝对误差控制在  $\leq 5\%$  范围内。

## 1.2 试验设计

### 1.2.1 试验田的选择

选取有代表性的两块田, 面积均接近  $0.13 \text{ hm}^2$ , 每块田布置 3 个取样点测定田间地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量。每 10 d 采 1 次水样进行测定。1 号田为油菜—水稻轮作, 此田为古河床, 比周边稻田低 2 m 左右, 一年四季均能取水, 油菜、水稻两季均按农民习惯施肥; 2 号田为小麦—水稻轮作, 麦季为 1997~1998 年不同施氮水平的定位试验, 即在相同磷、钾施用量基础上, 设置了 3 个纯氮(尿素)处理: N 0、N 150、N 375  $\text{kg hm}^{-2}$ , 1998 年稻季按照农民传统方式施肥。在水稻栽插前埋入 PVC 管, 以便对稻季田间地下水进行测定。

### 1.2.2 水井的选择

1 号井为路边井、2 号井为院中井、3 号井为机井, 每 10 d 取一次水样, 分别测定井水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量。其中机井为封闭式, 抽水深度 3.5 m; 路边井和院井均为开口式井, 常年水位在距地表 1 m~3 m 之间变化, 水样均取自早晨上层

井水。

该研究中均以地表灌溉水作为对照。

## 1.3 分析方法

pHSJ-4 型精密酸度计(精度 0.1 mV, 上海雷磁仪器厂), 硝酸根离子选择电极(上海光电仪器厂), T811 型温度补偿电极(上海光电仪器厂)。采用硝酸根电极法测定  $\text{NO}_3^-$ -N, 测定步骤参照《水和废水监测分析方法》<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 田间地下水 $\text{NO}_3^-$ -N 含量的变化规律

#### 2.1.1 田间地下水与灌溉水 $\text{NO}_3^-$ -N 含量变化的比较

由图 1 表明, 1998 年 5 月 19 日至 9 月 30 日属水稻生育期及收获后休闲期, 1 号田地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量大多低于灌溉水或与之相当。1 号田地下水与灌溉水中的  $\text{NO}_3^-$ -N 变幅分别为  $0.36 \sim 5.48 \text{ mg L}^{-1}$  和  $0.42 \sim 3.79 \text{ mg L}^{-1}$  (扣除了 1999 年 1 月 30 日鱼塘放水出现的异常情况, 下同), 其平均值分别为  $1.87 \text{ mg L}^{-1}$ 、 $1.81 \text{ mg L}^{-1}$ , 均属 I 类水质范围(地下水质量标准: GB/T4848-93, 下同)。1 号田地下水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量属 I、II、III 类水质的比例分别为 64.9%、32.4%、2.7%; 灌溉水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量属 I、II 类水质的比例分别为 61.1%、38.9%。

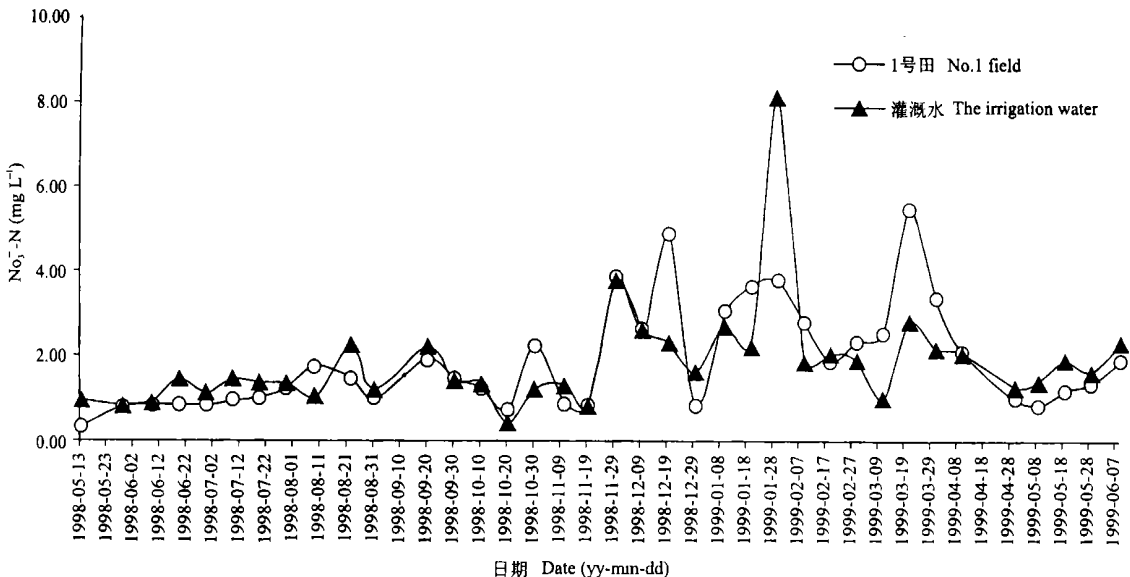


图 1 1 号田(油菜—水稻轮作)地下水与灌溉水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量比较

Fig. 1 The  $\text{NO}_3^-$ -N concentration of the groundwater in No. 1 field (rotation of rape and rice) comparing with the irrigation water

1 号田地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量与季节降水有关。

1998 年 5 月 13 日~10 月 30 日为丰水季,  $\text{NO}_3^-$ -N 含

量低且变幅较小,为  $0.36 \sim 2.26 \text{ mg L}^{-1}$ ,平均值为  $1.18 \text{ mg L}^{-1}$ ,低于该阶段灌溉水的平均值  $1.30 \text{ mg L}^{-1}$ ;1998年11月10日至1999年4月30日为枯水季,地下水  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量高且变幅较大,为  $0.84 \sim 5.48 \text{ mg L}^{-1}$ ,平均值为  $2.59 \text{ mg L}^{-1}$ 并且  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量变化曲线出现4个较大峰值,其中有3次与油菜施用氮肥直接有关。而该期灌溉水  $\text{NO}_3\text{-N}$  平均含量变幅为  $0.85 \sim 3.79 \text{ mg L}^{-1}$ ,平均值为  $2.04 \text{ mg L}^{-1}$ 。

**2.1.2 氮肥施用量对田间地下水  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量的影响** 已有研究表明<sup>[8]</sup>:硝态氮是随水移动的,当土壤上层累积了较多的  $\text{NO}_3\text{-N}$  后,在长期的降雨或灌溉的作用下,过多的水分会带着  $\text{NO}_3\text{-N}$  逐渐下移,并累积到越来越深的层次。土壤中累积的  $\text{NO}_3\text{-N}$  也可以通过中、大孔隙不断向下淋溶,在较深的层次

中大量的累积。蔡祖聪<sup>[9]</sup>认为:如果冬季好气休闲,淹水移栽水稻前土壤中可能积累起相当数量的  $\text{NO}_3\text{-N}$ 。在2号田1997~1998年设置的3个不同施氮水平处理的小麦定位试验基础上,1998年对稻季田间地下水  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量进行的测定也表明,麦季后的稻田一经淹水,地下水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量因前作施氮水平不同而表现出不同上升趋势(图2),高氮处理 ( $\text{N } 375 \text{ kg hm}^{-2}$ ) 地下水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  最高值达  $34.6 \text{ mg L}^{-1}$ ,平均值为  $17.97 \text{ mg L}^{-1}$ ,是低氮处理 ( $\text{N } 150 \text{ kg hm}^{-2}$ ) 平均值  $1.30 \text{ mg L}^{-1}$  的13.7倍。而且持续1个多月后才缓慢下降;低氮处理 ( $\text{N } 150 \text{ kg hm}^{-2}$ ) 地下水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量虽有增加,但与灌溉水相比并不显著,仅比灌溉水平均值  $1.10 \text{ mg L}^{-1}$  高出  $0.20 \text{ mg L}^{-1}$ 。

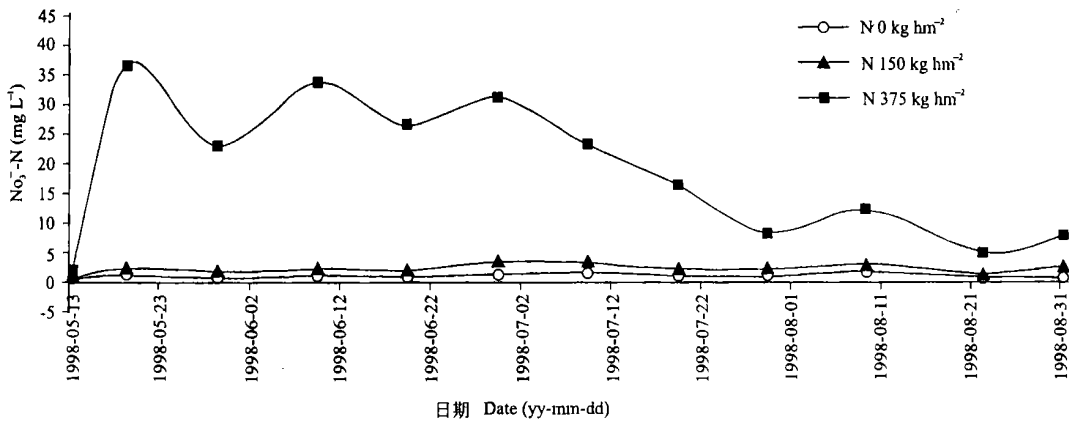


图2 前作不同施氮水平对2号田(小麦—水稻轮作)  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量的影响

Fig. 2 The effect of different N-fertilizer level in preceding crop on the  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration of groundwater in No. 2 field (rotation of wheat and rice)

同时,由  $F$  检验可知:2号田3种施氮水平的地下水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量在总体上有极显著差异,即  $p < 0.01$  时,对各处理平均数作多重比较(采用SSR检验字母标记法),2号田施氮  $375 \text{ kg hm}^{-2}$  处理的地下水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量极显著地高于施氮  $150 \text{ kg hm}^{-2}$  与不施氮处理,而后两者水平之间地下水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量的差异不显著(表1)。

## 2.2 井水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量的变化规律

**2.2.1 灌溉水与井水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量的比较** 图3表明,1号井、2号井、3号井和灌溉水  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量变幅分别为  $0.14 \sim 7.66 \text{ mg L}^{-1}$ 、 $0.55 \sim 9.11 \text{ mg L}^{-1}$ 、 $1.97 \sim 16.53 \text{ mg L}^{-1}$  和  $0.42 \sim 3.79 \text{ mg L}^{-1}$ 。3口井中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量平均值分别为  $2.54$ 、 $3.60$ 、 $6.52 \text{ mg L}^{-1}$ ,均  $\leq 20 \text{ mg L}^{-1}$ ,尚未超出我国生活饮用水卫生

标准(GB5749-85)<sup>[5]</sup>,但明显高于灌溉水  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量的平均值  $1.81 \text{ mg L}^{-1}$ 。值得注意的是,3号井的  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量变幅为  $1.97 \sim 16.53 \text{ mg L}^{-1}$ ,平均值高达  $6.52 \text{ mg L}^{-1}$ ,显著高于其它两井,这可能与3号井离含氮污染源(粪池、鱼塘)较近有关。

表1 施氮水平对2号田(麦—稻轮作)地下水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量影响

Table 1 The effect of N-fertilizer levels on the  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration of the groundwater in No. 2 field (rotation of wheat and rice)

处理 Treatment (N kg hm <sup>-2</sup> )	$X_i$	差异显著性 SSR-test	
		0.05	0.01
375	16.09	a	A
150	1.14	b	B
0	1.04	b	B

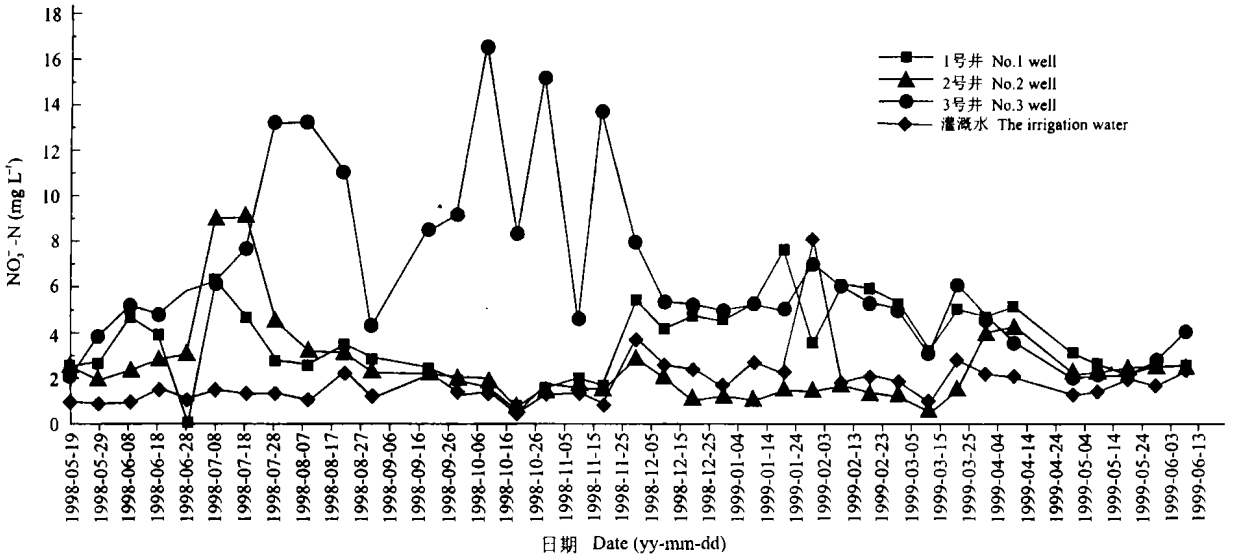


图 3 井水与灌溉水 NO<sub>3</sub>-N 含量的比较

Fig. 3 The NO<sub>3</sub>-N concentration of the water in wells comparing with the irrigation water

2.2.2 地下水位变化对井水中 NO<sub>3</sub>-N 含量的影响

由于 3 号井为封闭机井, 无法测定其水位变化, 故仅对 1 号井、2 号井进行线性回归分析。从图 4

可知:  $y = 0.0029x + 3.6849$  ( $R = 0.1049$ ,  $n = 85$ ), 井水中 NO<sub>3</sub>-N 含量与地下水位的高低无明显相关。

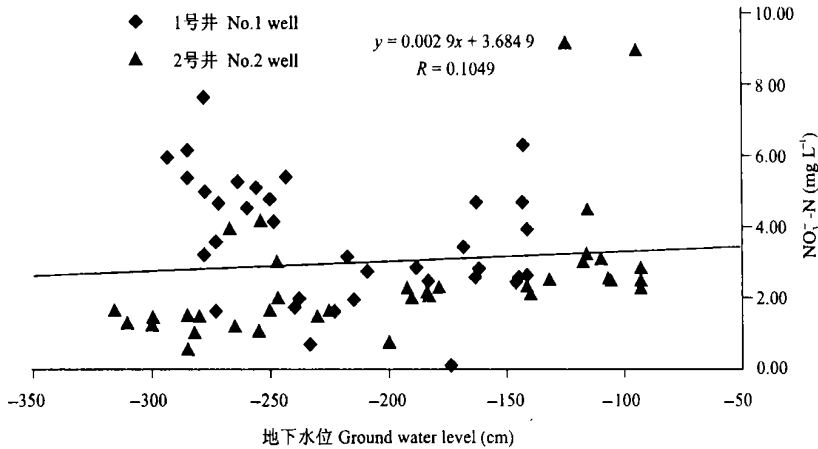


图 4 地下水位对井水 NO<sub>3</sub>-N 含量的影响

Fig. 4 The effect of the groundwater level on the NO<sub>3</sub>-N concentration of the groundwater in wells

3 结 语

通过上述研究初步认为:

1) 成都平原部分农区地下水中 NO<sub>3</sub>-N 含量周年变化规律为: 不管是田间地下水还是生活饮用水都是枯水期冬春两季较高, 丰水期夏秋两季较低。田间地下水中 NO<sub>3</sub>-N 含量在 I ~ III 类地下水水质范围内变化, 但其平均值小于 I 类地下水水质标准;

2) 田间地下水 NO<sub>3</sub>-N 含量与氮肥施用量有直接关系, 在同一轮作方式下二者成正相关。在麦季旱作期高施氮情况下, 对稻季水田中地下水 NO<sub>3</sub>-N 含量影响显著;

3) 成都平原部分农区井水中 NO<sub>3</sub>-N 含量范围在 2.54 ~ 6.52 mg L<sup>-1</sup>, 最高值为 16.53 mg L<sup>-1</sup>, 虽存在一定污染, 但尚未超出我国生活饮用水卫生标准 (GB5749-85) [5]。值得注意的是成都平原目前农户使用机井较为普遍, 机井的选址是否远离 N 污染源

是今后应关注的问题;

4) 井水中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量与地下水水位的高低无明显相关。

### 参考文献

- [1] 冯绍元, 郑耀泉. 农田氮素的转化与损失及其对水环境的影响. 农业环境保护, 1996, 15(6): 277~ 279. Feng S Y, Zheng Y Q. The effect of change and loss of N for water environment in field (In Chinese). *Agronomy Environmental Protection*, 1996, 15(6): 277~ 279
- [2] 黄民生. 略论地下水硝酸盐氮污染及其防治措施. 上海环境科学, 1995, 9(14): 26~ 28. Huang M S. Preliminary discussion on ground water nitrate pollution and its prevention measures (In Chinese). *Shanghai Environmental Science*, 1995, 9(14): 26~ 28
- [3] 胡国臣, 张清敏, 王忠, 等. 地下水硝酸盐污染防治研究. 农业环境保护, 1999, 18(5): 228~ 230. Hu G C, Zhang Q M, Wang Z, *et al.* Study on prevention to nitrate pollution of the groundwater (In Chinese). *Agronomy Environmental Protection*, 1999, 18(5): 228~ 230
- [4] 苏方宏. 景龙镇施用化学氮肥对浅层地下水及籽粒中  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NO}_2^-$ -N 含量的影响. 农业环境保护, 1989, 8(1): 29~ 30. Su F H. The effect of apply chemical fertilizer to  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N concentration of the shallow ground water and the seed (In Chinese). *Agronomy Environmental Protection*, 1989, 8(1): 29~ 30

- [5] 杨天. 节水灌溉技术手册. 北京: 中国大地出版社, 2002, 17~ 20. Yang T. Technical Manual of Save water Irrigation (In Chinese). Beijing: China Earth Press, 2002. 17~ 20
- [6] 罗时石, 张浩, 葛才林, 等. 不同温度及灌溉水量对土壤硝态氮淋失动态研究. 核农学报, 1995, 9(增刊): 7~ 10. Luo S S, Zhang H, Ge C L, *et al.* Study on the dynamic of  $^{15}\text{NO}_3^-$ -N leaching loss in soils with different temperature and irrigating quota (In Chinese). *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 1995, 9(Suppl.): 7~ 10
- [7] 《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 149~ 157. Editorial Board of Monitor and Analytical Method of Water and Waste Water. Monitor and Analytical Method of Water and Waste Water (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 1989. 149~ 157
- [8] 袁新民, 杨学云, 同延安, 等. 不同施氮量对土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积的影响. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 8~ 13. Yuan X M, Yang X Y, Tong Y A, *et al.* Effect of N-fertilizer rate on soil nitrate nitrogen accumulation (In Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(1): 8~ 13
- [9] 蔡祖聪. 尿素和  $\text{KNO}_3$  对水稻土无机态氮转化过程和产物的影响 I. 无机氮转化过程. 土壤学报, 2003, 40(2): 239~ 245. Cai Z C. Effects of urea and  $\text{KNO}_3$  on processes and products of inorganic nitrogen transformation in paddy soils I. Processes of inorganic nitrogen transformation (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 239~ 245

## MONITORING $\text{NO}_3^-$ -N VARIATION OF GROUNDWATER IN AGRICULTURE REGION OF CHENGDU PLAIN

Zhao Xiejing Zhao Xiaorong Wang Changtao

(Key Open Laboratory of Agricultural Resources and Environment in the Upper Reach of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, China)

**Abstract**  $\text{NO}_3^-$ -N content of groundwater in fields and wells at Tianfu village of Chengdu plain was monitored by using  $\text{NO}_3^-$ -N electrode method for more than one year. Results showed that: a.  $\text{NO}_3^-$ -N concentration of groundwater in fields in winter and spring was higher than that in summer and autumn. The former ranged from 0.36 to 2.62  $\text{mg L}^{-1}$  with an average of 2.59  $\text{mg L}^{-1}$ , and the corresponding figure for the latter was 0.84~ 5.48  $\text{mg L}^{-1}$  and 1.10  $\text{mg L}^{-1}$ , respectively. b. Rate of applied N in wheat cropping season greatly affected  $\text{NO}_3^-$ -N concentration of groundwater in the fields of subsequent rice cropping season. The  $\text{NO}_3^-$ -N concentration of groundwater averaged 17.9  $\text{mg L}^{-1}$  when N application rate was 375  $\text{kg hm}^{-2}$ , and the average of  $\text{NO}_3^-$ -N concentration was only 1.3  $\text{mg L}^{-1}$  when 150  $\text{kg hm}^{-2}$  was applied. c.  $\text{NO}_3^-$ -N in 3 wells was in the range of 0.14~ 16.5  $\text{mg L}^{-1}$  with the mean value of 2.54, 3.60, and 6.52  $\text{mg L}^{-1}$ , respectively, higher than the average (1.81  $\text{mg L}^{-1}$ ) of  $\text{NO}_3^-$ -N concentration of irrigation water in the region. d. Level of groundwater was not correlated to  $\text{NO}_3^-$ -N content of wells.

**Key words** Groundwater; Nitrate; Variation trend; Rate of N application; Chengdu plain