

## 北京市平原农区深层地下水硝态氮污染状况研究\*

刘宏斌<sup>1, 2</sup> 张云贵<sup>1, 2</sup> 李志宏<sup>1, 2</sup> 张维理<sup>1, 2</sup> 林 葆<sup>1, 2</sup>

(1 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

(2 农业部植物营养学重点开放实验室, 北京 100081)

**摘要** 对北京市平原农区 481 眼深层井硝态氮含量进行了分析。结果表明, 北京市平原农区深层地下水硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) 含量平均为  $5.74 \text{ mg L}^{-1}$ , 其中 48.4% 的调查机井受到人类活动的影响( $\text{NO}_3^--\text{N} \geq 2 \text{ mg L}^{-1}$ ), 21.0% 的机井超过国际安全允许上限( $\text{NO}_3^--\text{N} \geq 10 \text{ mg L}^{-1}$ ), 8.1% 的机井超过我国饮用水上限( $\text{NO}_3^--\text{N} \geq 20 \text{ mg L}^{-1}$ )。地下水位在 120~200 m 的饮用水质量总体较好, 硝态氮平均含量为  $5.16 \text{ mg L}^{-1}$ , 超标率为 13.8%; 而地下水位在 70~100 m 的农灌水质量相对较差, 硝态氮平均含量为  $5.98 \text{ mg L}^{-1}$ , 超标率为 24.1%。近郊地下水质量劣于远郊, 其中近郊饮用水超标率为 38.7%, 远郊为 3.0%; 近郊农灌水超标率为 52.6%, 远郊为 15.3%。地下水硝态氮超标区域主要集中在老菜区。总体来看, 北京市平原农区地下水硝态氮污染程度已超过欧美国家, 必需及早采取有效措施加以控制。

**关键词** 地下水; 硝态氮; 污染; 平原农区; 北京

中图分类号 X523

文献标识码 A

近年来, 硝态氮污染地下水已成为国际上普遍关注的问题<sup>[1, 2]</sup>。硝态氮本身对人体虽无直接危害, 但被还原为亚硝态氮后却可诱发高铁血红蛋白症、消化系统癌症等疾病而威胁人体健康。对于以地下水作为主要水源的国家和地区来说, 地下水硝态氮污染的威胁更为严峻。欧美许多国家和地区都存在地下水硝态氮含量严重超标的现象<sup>[3~6]</sup>。我国许多地区也在不同程度上受到了硝态氮的污染, 一些地区甚至已到了较为严重的程度。张维理等对我国北方 13 个市、县 69 个点的调查结果表明, 半数以上调查井硝态氮含量超标<sup>[7]</sup>; 邢光熹等对江苏吴县 40 眼井的调查结果表明, 硝态氮含量超标率为 28%<sup>[8]</sup>; 吕殿青等对陕西 167 眼水井的调查结果也表明, 硝态氮超标率占 25%<sup>[9]</sup>。

针对地下水硝态氮污染的严重威胁, 欧美国家先后于 20 世纪 80 至 90 年代开始了地下水硝态氮污染调查与控制对策方面的系统研究, 为有效控制地下水污染提供了解决方案。Overgaard 综合分析了丹麦 11 000 眼水井和 2 800 个饮用水监测站的硝态氮污染状况, 结果表明, 饮用水硝态氮含量超标比例

为 8%, 地下水硝态氮平均含量在过去的 20~30 a 中增加了 3 倍, 而且还在以每年  $3.3 \text{ mg L}^{-1}$  的速度增加<sup>[5]</sup>。Spalding 和 Exner 总结了全美 200 000 个监测数据, 结果表明, 地下水硝态氮含量与所处环境有着密切关系, 灌溉、排水良好的集约化农区, 地下水硝态氮污染风险较高, 浅层地下水更容易受到污染<sup>[10]</sup>。随着信息技术的发展, 近年来国外在应用计算机技术和模型方法分析、模拟、预测和控制土壤硝态氮淋溶和地下水污染方面也获得了重要进展<sup>[11, 12]</sup>。Babiker 等应用 GIS 技术研究了地下水硝态氮污染的特点, 结果表明, 日本中部地区大多数地下水硝态氮超标区域位于菜地, 并据此推论菜地是该地区地下水中硝态氮的主要来源, 也是硝态氮污染治理的重点区域<sup>[13]</sup>。

相比之下, 我国这方面的工作基础尚较薄弱, 环境部门大多以城区为监测重点, 对更易受到面源污染的农村地区缺乏足够重视, 全国尚无省级行政区域的试点研究, 在采样布点和数量、监测内容方面也还不尽完善。地下水是北京最主要的饮用水源, 担负着全市 70% 的供水任务<sup>(1)</sup>。京郊平原农村地区

\* 国家科技攻关项目(2004BA520A13-8)、北京市自然科学基金项目(6052007)国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410806)联合资助  
作者简介: 刘宏斌(1970~), 男, 河北秦皇岛人, 博士, 副研究员, 主要从事施肥与环境方面的研究。Tel: 010-68918685; Fax: 010-68976900; E-mail: hbliu@caas.ac.cn

收稿日期: 2004-06-22; 收到修改稿日期: 2004-12-16

(1) 北京市水利局. 北京市水资源公报. 1997

地下水不仅是城市居民用水的主要来源,也是农村生活用水的最主要来源,地下水硝态氮污染将直接危害到人民健康。为此,选择北京市平原农村地区,研究地下水硝态氮污染现状及区域分布特点和影响因素,试图为有针对性地治理农业面源污染提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

北京市平原地区约占全市面积的 41.5%,其含水层岩性由砂卵、砾石、砂组成,地下水蕴藏较丰富,水文地质条件主要受河流冲积扇控制。其中,潜水分布在山前冲积洪积扇的顶部及广大平原区的浅层,主要接受大气降雨入渗补给;承压水分布于平原浅水层以下,由潜水侧向径流及垂直越流补给,近年来由于过量开采,地下水位逐年下降,形成大面积漏斗区。本研究中依据深层地下水利用类型和开采深度将其划分为农灌水和饮用水两大类,两者均相当

于地质学中的承压水。从两种地下水的开采深度来看,饮用水井较深,一般在 120~200m;农灌水井相对稍浅,一般在 70~100m。

### 1.2 布点采样

在根据统计数据和卫星遥感影像摸清全市平原农村作物总体布局的基础上,选择北京市平原地区代表性较强的粮食和蔬菜种植区为主要调查区域,采用均匀布点、局部加密的原则,于 1999 年 11 月至 2000 年 10 月随机取样。本次调查共计采集 481 个深层地下水井(图 1 和表 1),覆盖全市平原农区 13 个区县。其中,远郊顺义区采样井最多,达 126 眼,占样本总量的 26.2%;其次为大兴、通州,分别为 79 眼和 73 眼,占 16.4% 和 15.2%;近郊朝阳和海淀也分别达到 44 眼和 53 眼,占 9.1% 和 11.0%。此外,昌平、平谷、丰台 3 个区的采样井也接近或超过 20 眼。每一个采样井均采用 GPS(Garmin 12)定位。记录机井深度、机井所处区县、乡镇、村及农户姓名、联系电话等。

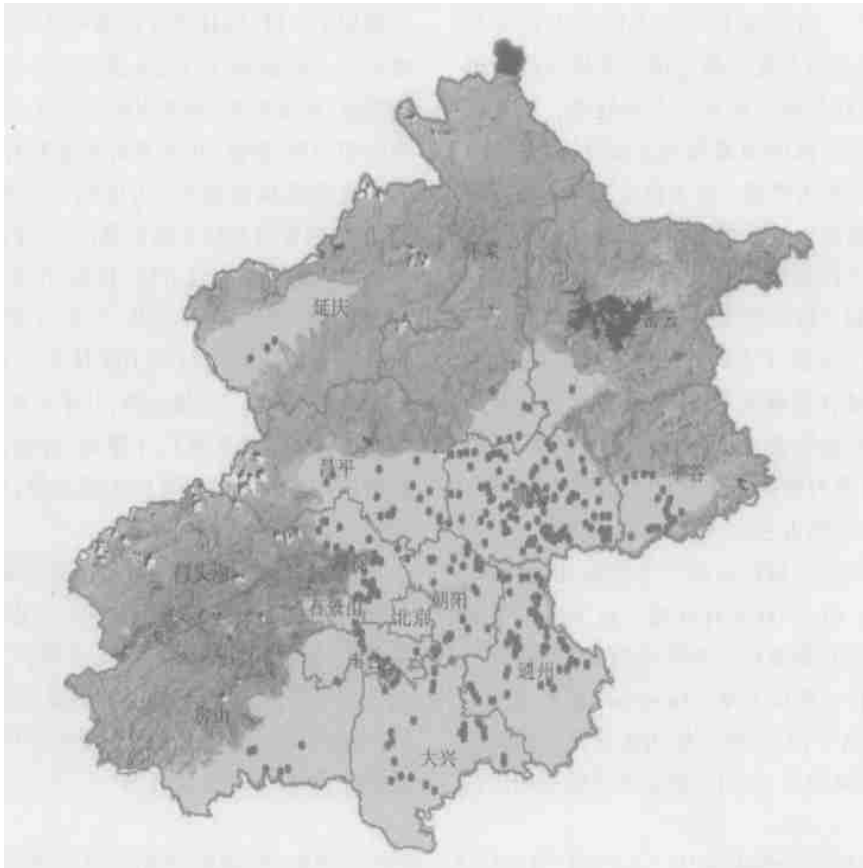


图 1 北京市平原农区机井采样点位图

Fig. 1 Location of sampled wells in the survey

### 1.3 测定方法

采用连续流动分析仪法(TRACECS-2000 Continuous Flow Analytical, CFA)测定硝态氮( $\text{NO}_3^-$ -N)。

### 1.4 地下水硝态氮污染评价标准

采用刘宏斌等<sup>[14]</sup>的分级方法,依硝态氮含量将地下水质量分为5个等级:0~2mg L<sup>-1</sup>为优良;2~5mg L<sup>-1</sup>为良好;5~10mg L<sup>-1</sup>为达标,但已处于警戒状态;10~20mg L<sup>-1</sup>为超标;≥20mg L<sup>-1</sup>为严重超标。

## 2 结果与分析

### 2.1 北京市平原农区深层地下水硝态氮污染状况

从调查结果来看(表1,表2),北京市平原农村地区深层地下水的质量令人堪忧,481眼调查井水的硝态氮含量平均为5.74 mg L<sup>-1</sup>。其中,硝态氮含量超标机井占21.0%,严重超标机井占8.1%。

不同区域间地下水硝态氮含量差异极为明显,远郊地下水质量远优于近郊(表1,表2)。357眼远郊地下水硝态氮含量平均为3.92 mg L<sup>-1</sup>,超标率为

11.8%,严重超标率为4.2%;而124眼近郊地下水硝态氮含量平均达10.97 mg L<sup>-1</sup>,超标率达47.6%,严重超标率达19.4%。远郊各区县中,除大兴超标率较高(21.5%)以外,其余均在4%~16%。其中,顺义和平谷地下水质量最好,硝态氮平均含量分别为2.18 mg L<sup>-1</sup>和3.24 mg L<sup>-1</sup>,超标率分别仅为5.6%和4.0%,而且无一严重超标;昌平、通州、房山以及怀柔、密云、延庆等区县,硝态氮含量在3~7 mg L<sup>-1</sup>,超标率为10%~16%,严重超标率为5%~12%。近郊三个区中,丰台污染最为严重,硝态氮含量平均达18.02 mg L<sup>-1</sup>,超标率达66.7%,严重超标率高达33.3%;与丰台接壤的海淀也较差,平均含量已超过11.36 mg L<sup>-1</sup>,超标率达52.8%,严重超标率达22.6%;朝阳相对稍好,但超标率仍达29.5%,严重超标率为6.8%。值得注意的是,各个采样井之间硝态氮含量变异较大,除丰台和怀密延地区变异较小以外,其余区县均接近甚至大大超过100%,这说明地下水硝态氮含量与其所处环境有着密切关系。

表1 北京市平原农村地区深层地下水硝态氮含量

Table 1 NO<sub>3</sub>-N content of deep groundwater in rural plain areas of Beijing

地区 Regions	样本数(个) Samples	所占比例(%) Percent	平均(mg L <sup>-1</sup> ) Mean	标准差 SD	变异系数(%) C.V.	最大值(mg L <sup>-1</sup> ) Max
远郊 顺义 Shunyi	126	26.2	2.18	3.42	156.9	15.40
Exurb 平谷 Pinggu	25	5.2	3.24	3.59	111.1	17.40
regions 大兴 Daxing	79	16.4	5.68	8.19	144.1	32.34
昌平 Changping	19	4.0	3.08	6.15	199.6	26.20
通州 Tongzhou	73	15.2	4.35	8.68	199.5	45.82
房山 Fangshan	9	1.9	6.31	7.92	125.6	25.94
其他 Other regions <sup>1)</sup>	26	5.4	6.23	3.13	50.3	12.87
小计 Sum	357	74.2	3.92	6.43	164.0	45.82
近郊 朝阳 Chaoyang	44	9.1	6.17	7.81	126.6	28.83
Suburb 海淀 Haidian	53	11	11.36	10.27	90.4	41.52
regions 丰台 Fengtai	27	5.6	18.02	11.68	64.8	38.37
小计 Sum	124	25.8	10.97	10.68	97.3	41.52
平原农区 Rural plain areas	481	100.0	5.74	8.33	145.2	45.82

1) 指怀柔、密云和延庆等3个区县合计 Sum of Huairou, Miyun and Yanqing counties

表2 北京市平原农村地区深层地下水硝态氮含量的频率分布

Table 2 Frequency distribution of  $\text{NO}_3^-$ -N content of deep groundwater in rural plain areas of Beijing

地区 Regions	样本数(个) Samples	硝态氮含量频率 Frequency of nitrate content (%)					合计 Total	
		$< 2\text{mg L}^{-1}$	$2\sim 5\text{mg L}^{-1}$	$5\sim 10\text{mg L}^{-1}$	$10\sim 20\text{mg L}^{-1}$	$\geq 20\text{mg L}^{-1}$		
远郊 Exurb regions	顺义 Shunyi 平谷 Pinggu	126 25	73.0 52.0	12.7 28.0	8.7 16.0	5.6 4.0	0.0 0.0	100 100
远郊 Exurb regions	大兴 Daxing	79	49.4	17.7	11.4	12.7	8.9	100
	昌平 Changping	19	63.2	26.3	0.0	5.3	5.3	100
	通州 Tongzhou	73	65.8	13.7	6.8	5.5	8.2	100
	房山 Fangshan	9	33.3	33.3	22.2	0.0	11.1	100
	其他 Other regions <sup>1)</sup>	26	15.4	30.8	38.5	15.4	0.0	100
	小计 Sum	357	59.1	17.6	11.5	7.6	4.2	100
近郊 Suburb regions	朝阳 Chaoyang 海淀 Haidian	44 53	52.3 26.4	9.1 15.1	9.1 5.7	22.7 30.2	6.8 22.6	100 100
近郊 Suburb regions	丰台 Fengtai	27	0.0	11.1	22.2	33.3	33.3	100
	小计 Sum	124	29.8	12.1	10.5	28.2	19.4	100
平原农区 Rural plain areas		481	51.6	16.2	11.2	12.9	8.1	100

1) 指怀柔、密云和延庆等3个区县合计 Sum of Huairou, Miyun and Yanqing counties

## 2.2 北京市平原农区不同埋深的地下水硝态氮污染状况

### 2.2.1 饮用水

农村饮用水共计调查145眼机井。总体来看(表3), 饮用水硝态氮含量较低, 平均为 $5.16\text{mg L}^{-1}$ , 基本符合要求。全市145眼农村饮用水井中(表4), 有20眼硝态氮含量超标, 占

13.8%, 其中严重超标10眼, 占6.9%。远郊饮用水质量远优于近郊。101眼远郊饮用井硝态氮含量平均为 $2.92\text{mg L}^{-1}$ , 超标机井仅3眼, 占远郊调查点的3.0%。近郊44眼饮用水井的硝态氮含量平均为 $11.51\text{mg L}^{-1}$ , 超标机井18眼, 占近郊调查点的38.7%, 其中严重超标机井9眼, 占20.5%。

表3 北京市平原农村地区饮用水硝态氮平均含量

Table 3  $\text{NO}_3^-$ -N content of groundwater from drinking wells in rural plain areas of Beijing

地区 Regions	样本数(个) Samples	所占比例(%) Percent	平均( $\text{mg L}^{-1}$ ) Mean	标准差 SD	变异系数(%) C.V.	最大( $\text{mg L}^{-1}$ ) Max	
远郊 Exurb regions	顺义 Shunyi 大兴 Daxing 通州 Tongzhou 其他 Other regions <sup>1)</sup>	32 25 20 24	22.1 17.2 13.8 16.6	2.54 3.68 1.50 3.82	3.02 5.01 3.62 2.52	118.9 136.1 241.3 66.0	9.98 23.88 16.02 8.27
	小计 Sum	101	69.7	2.92	3.68	126.0	23.88
近郊 Suburb regions	朝阳 Chaoyang 海淀 Haidian 丰台 Fengtai	16 19 9	11.0 13.1 6.2	6.33 9.58 18.94	8.43 10.29 14.94	133.2 107.4 78.9	28.83 36.17 38.15
	小计 Sum	44	30.3	10.31	11.51	111.6	38.15
平原农区 Rural plain areas		145	100	5.16	7.78	150.8	38.15

1) 指怀柔、密云、延庆、平谷、房山和昌平等6个区县合计 Sum of Huairou, Miyun, Yanqing, Pinggu, Fangshan and Changping counties

远郊调查点较多的顺义、大兴、通州 3 个区县来看,顺义情况最好,32 眼饮用井水硝态氮含量全部低于  $10\text{mg L}^{-1}$ ,良好率达 84.4%;通州 20 眼饮用井水良好率达 95%,仅 1 眼超标,位于老菜区宋庄镇;大兴 25 眼饮用井良好率为 76.0%,超标率为 8.0%,两眼超标井分别位于大兴黄村镇和太和镇。

近郊朝阳区饮用水良好率仅 56.3%,16 眼饮用水井中有 4 眼超标,超标率达 25%,其中 1 眼严重超标,超标区域集中在十八里店乡;海淀区饮用水良好

率为 53%,19 眼饮用水井中有 8 眼超标,超标率达 42.2%,其中严重超标机井 4 眼,占 18.2%,四季青乡东冉村饮用水硝态氮含量最高,为  $36.17\text{mg L}^{-1}$ 。丰台区污染最为严重,超标率达 55.5%,且严重超标机井占 44.4%,最高达  $38.15\text{mg L}^{-1}$ (丰台区南苑新宫北队),超标区域集中在花乡、南苑等地。值得注意的是,饮用水超标区域如朝阳十八里店、海淀四季青、丰台花乡、通州宋庄、大兴黄村等地均为北京市老菜区。

表 4 北京市平原农村地区饮用水硝态氮含量的频率分布

Table 4 Frequency distribution of  $\text{NO}_3\text{-N}$  content of groundwater from drinking wells in rural plain areas of Beijing

地区 Regions	样本数(个) Samples	硝态氮含量频率 Frequency of nitrate content (%)					合计 Total
		$< 2\text{mg L}^{-1}$	$2\sim 5\text{mg L}^{-1}$	$5\sim 10\text{mg L}^{-1}$	$10\sim 20\text{mg L}^{-1}$	$\geq 20\text{mg L}^{-1}$	
远郊 顺义 Shunyi	32	71.9	12.5	15.6	0.0	0.0	100
Exurb 大兴 Daxing	25	44.0	32.0	16.0	4.0	4.0	100
regions 通州 Tongzhou	20	85.0	10.0	0.0	5.0	0.0	100
其他 Other regions <sup>1)</sup>	24	37.5	29.2	33.3	0.0	0.0	100
小计 Sum	101	59.4	20.8	16.8	2.0	1.0	100
近郊 朝阳 Chaoyang	16	50.0	6.3	18.8	18.8	6.3	100
Suburb 海淀 Haidian	19	26.3	26.3	5.3	21.1	21.1	100
regions 丰台 Fengtai	9	0.0	33.3	11.1	11.1	44.4	100
小计 Sum	44	29.5	20.5	11.4	18.2	20.5	100
平原农区 Rural plain areas	145	50.3	20.7	15.2	6.9	6.9	100

1) 指怀柔、密云、延庆、平谷、房山和昌平等 6 个区县合计 Sum of Huairou, Miyun, Yanqing, Pinggu, Fangshan and Changping counties

2.2.2 农灌水 农灌井共计调查 336 眼。总体来看,农灌水污染程度重于饮用水。虽然从平均含量来看(表 5),农灌水硝态氮含量  $5.98\text{mg L}^{-1}$  与饮用水基本相当,但农灌水超标比例却高达 24.1%(表 6),比饮用水高出 10.3 个百分点,严重超标比例达 8.6%,比饮用水高 1.7 个百分点。与饮用水相似,

远郊农灌水质量优于近郊。256 眼远郊机井硝态氮含量平均为  $4.31\text{mg L}^{-1}$ ,良好率为 75.0%;超标机井 39 眼,占 15.3%;严重超标机井 14 眼,占 5.5%。80 眼近郊农灌井硝态氮含量平均达  $11.33\text{mg L}^{-1}$ ,其中 42 眼硝态氮含量超过  $10\text{mg L}^{-1}$ ,超标率高达 52.6%,15 眼超过  $20\text{mg L}^{-1}$ ,严重超标率达 18.8%。

表 5 北京市平原农村地区农灌水硝态氮平均含量

Table 5  $\text{NO}_3\text{-N}$  content of groundwater from irrigation wells in rural plain areas of Beijing

地区 Regions	样本数(个) Samples	所占比例(%) Percent	平均( $\text{mg L}^{-1}$ ) Mean	标准差 SD	变异系数(%) C.V.	最大值( $\text{mg L}^{-1}$ ) Max.
远郊 顺义 Shunyi	94	28.0	2.06	3.55	172.8	15.4
Exurb 大兴 Daxing	54	16.1	6.61	9.2	139.1	32.34
regions 昌平 Changping	18	5.4	3.00	6.32	210.6	26.2
通州 Tongzhou	53	15.8	5.43	9.76	179.8	45.82
其他 Other regions <sup>1)</sup>	37	11.0	5.74	5.25	91.4	25.94
小计 Sum	256	76.2	4.31	7.20	166.9	45.82

续表

地区 Regions	样本数(个) Samples	所占比例(%) Percent	平均(mg L <sup>-1</sup> ) Mean	标准差 SD	变异系数(%) C.V.	最大值(mg L <sup>-1</sup> ) Max.
近郊 朝阳 Chaoyang	28	8.3	6.08	7.60	124.9	25.14
Suburb regions 海淀 Haidian	34	10.1	12.35	10.27	83.2	41.52
丰台 Fengtai	18	5.4	17.56	10.15	57.8	38.37
小计 Sum	80	23.8	11.33	10.25	90.5	41.52
平原农区 Rural plain areas	336	100	5.98	8.55	143.0	45.82

1) 指平谷、密云、怀柔、延庆、房山等5县合计 Sum of Pinggu, Miyun, Huairou, Yanqing and Fangshan counties

表6 北京市农灌水硝态氮含量的频率分布

Table 6 Frequency distribution of NO<sub>3</sub>-N content of groundwater from irrigation wells in rural plain areas of Beijing

地区 Regions	样本数(个) Samples	硝态氮含量频率 Frequency of nitrate content (%)					合计 Total
		< 2 mg L <sup>-1</sup>	2~ 5 mg L <sup>-1</sup>	5~ 10 mg L <sup>-1</sup>	10~ 20 mg L <sup>-1</sup>	≥20 mg L <sup>-1</sup>	
远郊 顺义 Shunyi	94	73.4	12.8	6.4	7.4	0.0	100
Exurb regions 昌平 Changping	18	66.7	22.2	0.0	5.6	5.6	100
大兴 Daxing	54	51.9	11.1	9.3	16.7	11.1	100
通州 Tongzhou	53	58.5	15.1	9.4	5.7	11.3	100
其他 Other regions <sup>1)</sup>	37	24.3	35.1	24.3	13.5	2.7	100
小计 Sum	256	58.2	16.8	9.8	9.8	5.5	100
近郊 朝阳 Chaoyang	28	53.6	10.7	3.6	25.0	7.1	100
Suburb regions 丰台 Fengtai	18	0.0	0.0	27.8	44.4	27.8	100
海淀 Haidian	34	26.5	8.8	5.9	35.3	23.5	100
小计 Sum	80	30.0	7.5	10.0	33.8	18.8	100
平原农区 Rural plain areas	336	51.5	14.6	9.8	15.5	8.6	100

1) 指平谷、密云、怀柔、延庆、房山等5县合计 Sum of Pinggu, Miyun, Huairou, Yanqing and Fangshan counties

远郊区县中,顺义和昌平情况较好。其中顺义95眼农灌井硝态氮平均仅2.06 mg L<sup>-1</sup>,超标率仅7.4%,且无一超过20 mg L<sup>-1</sup>,超标区域集中在木林、南彩、北小营等乡镇,最高值为南彩镇杜刘庄,硝态氮含量为15.40 mg L<sup>-1</sup>;昌平18眼农灌井硝态氮含量平均为3.00 mg L<sup>-1</sup>,良好率为88.9%,超标率为11.2%,硝态氮含量最高的一眼井在南邵镇,为26.2 mg L<sup>-1</sup>。通州和大兴较差,其中大兴54眼机井硝态氮含量平均为6.61 mg L<sup>-1</sup>,超标机井15眼,占27.8%,严重超标6眼,占11.1%,超标区域集中在西红门、青云店、长子营、黄村等乡镇,最高值出现在西红门乡二村,硝态氮含量32.34 mg L<sup>-1</sup>;通州53眼农灌井的硝态氮含量平均为5.43 mg L<sup>-1</sup>,超标机井9眼,占17.0%,严重超标6眼,占11.3%,超标区域集中在宋庄、胡各庄等乡镇,最高的宋庄镇大兴庄村达45.82 mg L<sup>-1</sup>。与饮用水相似,农灌水超标机井也几乎均位于老菜区。

近郊丰台区污染最为严重,18眼农灌井硝态氮

含量平均达17.56 mg L<sup>-1</sup>,超标率达72.2%,严重超标率达27.8%,最高值出现在花乡,为38.37 mg L<sup>-1</sup>;海淀区其次,34眼农灌井硝态氮含量平均为12.35 mg L<sup>-1</sup>,超标率达58.8%,严重超标率23.5%,最高值出现在四季青乡横街村,为41.52 mg L<sup>-1</sup>;相比之下,朝阳区情况稍好,28眼农灌井硝态氮含量平均为6.08 mg L<sup>-1</sup>,超标率为32.1%,严重超标率7.1%,最高值出现在十八里店乡小武基村,为25.14 mg L<sup>-1</sup>。地下水硝态氮超标区域如海淀区四季青、肖家河、温泉,丰台区花乡、南苑,朝阳区十八里店、小红门均位于老菜区。

### 3 讨论

地下水硝态氮污染已成为一个全球性的问题。加拿大安大略省饮用水井硝态氮超标率达14%<sup>[3]</sup>;美国北卡州9 000眼家庭水井中,硝态氮超标率为3.2%<sup>[4]</sup>;丹麦地下水硝态氮超标率为8%<sup>[5]</sup>,澳大

利亚东北部沿海地区超标率为 3%<sup>[6]</sup>。从本次调查结果来看,北京市平原地区农村深层地下水硝态氮污染程度大大超过欧美发达国家和地区。481 眼深层井中,地下水硝态氮平均含量为 5.74 mg L<sup>-1</sup>,超标机井占 21.0%,其中严重超标机井占 8.1%。国际上一般认为,地下水硝态氮含量的本底值为 2~ 3 mg L<sup>-1</sup>,超过这一数值即表明地下水已受到人为因素干扰<sup>[15]</sup>。目前我国尚无地下水硝态氮本底值,如果借鉴国外的指标,则北京市深层地下水井有 48.4% 受到施肥、生活排污、畜禽养殖等因素的影响,这一比例相当惊人。

从本研究结果来看,地下水埋深越浅,硝态氮含量越高,超标率和严重超标率越高。地下水位在 120~ 200 m 的饮用水质量总体较好,硝态氮平均含量为 5.16 mg L<sup>-1</sup>,超标率为 13.8%,其中超过 20 mg L<sup>-1</sup>、属于严重超标的占 6.9%;而地下水位在 70~ 100 m 的农灌水质量相对较差,硝态氮平均含量为 5.98 mg L<sup>-1</sup>,超标率为 24.1%,严重超标率为 8.6%。Kolpin 等的研究也得到了类似结果<sup>[16]</sup>,这也意味着,地下水硝态氮很可能来源于上部土层的淋溶作用,浅层地下水最先受到污染,然后逐渐向深层渗漏<sup>[17]</sup>。与前人研究结果<sup>[7]</sup>相比,本次调查地下水硝态氮超标率相对较低,主要原因可能在于以往未考虑到地下水的埋藏深度,将不同深度的地下水混在一起分析。

北京市平原农区地下水硝态氮污染区域主要集中在蔬菜种植区,饮用水和农灌水均表现出相同规律,近郊污染尤为严重,其中饮用水近郊超标率为 38.7%,远郊为 3.0%;农灌水近郊超标率为 52.6%,远郊为 15.3%。近郊地下水硝态氮污染严重与近郊蔬菜种植历史悠久有关。近郊朝阳、海淀和丰台曾经是北京历史上重要的蔬菜生产基地,四季青、肖家河、花乡、十八里店、小红门等地种菜历史均在 50a 甚至 100a 以上,上个世纪 70 年代末期,近郊菜田仍占全市菜田面积的一半;80 年代中期,远郊蔬菜才开始迅速发展,到 1999 年远郊菜田已占 87.0%。由于蔬菜过量施肥普遍、土壤硝态氮残留严重<sup>[18]</sup>,在大水漫灌的情况下,很容易造成淋洗损失并污染地下水<sup>[19]</sup>,因此,蔬菜种植区已成为今后地下水硝态氮污染的防治的重点区域。国外的研究也表明,农业发达地区特别是蔬菜区往往更容易产生地下水硝态氮污染<sup>[13,20]</sup>。

地下水硝态氮污染不仅威胁到人类健康,而且在硝态氮淋溶的过程中往往伴有 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等阳离

子的淋溶,造成地下水硬度增加<sup>[21]</sup>,这将进一步威胁地下水饮用质量。北京市农村地区地下水不仅直接供本地农民饮用,而且担负着向全市居民供水的重任,因此农村地区地下水硝态氮污染的控制已迫在眉睫。据估测<sup>[22]</sup>,即使在降低肥料用量的条件下,荷兰、比利时、丹麦、德国等欧洲国家还要经过 25~ 50 a,其浅层地下水的硝态氮含量水平才会降到安全范围。针对目前北京市平原农区地下水硝态氮污染的空间分布,特别是考虑到远郊蔬菜的迅速发展,应尽快摸清地下水硝态氮污染的影响因素,从种植结构、平衡施肥、区域地质分析等方面入手,控制地下水硝态氮污染。

## 参考文献

- [1] Power J E. Nitrate contamination of ground-water in north America. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 1989, 26: 165~ 187
- [2] Tessendorff H. Nitrates in groundwater: A European problem of growing concern. *Aqual*, 1985, 4: 192~ 193
- [3] Goss M J, Bary D A J, Rudolph D L. Contamination in Ontario farmstead domestic wells and its association with agriculture: 1. Results from drinking water wells. *Journal of Contaminant Hydrology*, 1998, 32 (3/4): 267~ 293
- [4] Jennings G D, Sneed R E, Huffman R H, *et al.* Nitrate and pesticide occurrence in North Carolina Wells. In: Joseph S. ed. *International Summer Meeting of the American Society of Agricultural Engineers Michigan*, 1991
- [5] Overgaard K. Trends in nitrate pollution of groundwater in Denmark. *Nordic Hydrology*, 1989, 15(4/5): 177~ 184
- [6] Thorburn P J, Biggs J S, Weier K L, *et al.* Nitrate in groundwaters of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 94: 49~ 58
- [7] 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝态氮污染的调查. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(2): 80~ 87. Zhang W L, Tian Z X, Zhang N *et al.* Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in north China (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 1995, 1(2): 80~ 87
- [8] 邢光熹, 施书莲, 杜丽娟等. 苏州地区水体氮污染状况. *土壤学报*, 2001, 38(4): 540~ 546. Xing G X, Shi S L, Du L J, *et al.* Situation of nitrogen pollution in water bodies in Suzhou region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(4): 540~ 546
- [9] 吕殿青, 同延安, 孙本华. 氮肥施用对环境污染影响的研究. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(1): 8~ 15. Lu D Q, Tong Y A, Sun B H. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 1998, 4(1): 8~ 15
- [10] Spalding R F, Exner M E. Occurrence of nitrate in groundwater — A review. *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22(3): 392~ 402
- [11] Lasserre F, Razack M, Banton O. A GIS-linked model for the assess-

- ment of nitrate contamination in groundwater. *Journal of Hydrology*, 1999, 224(3/4): 81~ 90
- [12] Minshew H, Selker J, Hemphill D, *et al.* NLEAP computer model and multiple linear regression prediction of nitrate leaching in vegetable systems. *HortTechnology*, 2002, 12(2): 250~ 256
- [13] Babiker IS, Kato K, Ohta K, *et al.* Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environment International* 2004, 29(8): 1009~ 1017
- [14] 刘宏斌, 雷宝坤, 张云贵, 等. 北京市顺义区地下水硝态氮污染的现状与评价. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(4): 385~ 390. Liu H B, Lei B K, Zhang Y G, *et al.* Investigation and evaluation on nitrate pollution in groundwater of Shunyi District ( In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(4): 385~ 390
- [15] Madison R J, Brunett J. Overview of the occurrence of nitrate in groundwater of the U. S. *In: U S Geological Survey. ed National Water Summary, Water Supply Paper 2275. Washington D C, 1984. 93~ 104*
- [16] Kolpin D W, Brunkart M R, Thuman E M. Herbicides and nitrate in near-surface aquifers in the Midcontinental United States, 1991. *In: U S Geological Survey. ed. Water Supply Paper 2413. Denver, Colorado, 1994. 1~ 5, 15~ 33*
- [17] Jabro J D. A field study of macropore flow under saturated conditions using a bromide tracer. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1991, 46(5): 376~ 380
- [18] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 等. 北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征. *中国农业科学*, 2004, 37(5): 692~ 698. Liu H B, Li Z H, Zhang Y G, *et al.* Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 692~ 698
- [19] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 灌溉与降水对土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积的影响. *水土保持学报*, 2000, 14(3): 71~ 74. Yuan X M, Tong Y A, Yang X Y. *et al.* Effect of irrigation and precipitation on soil nitrate nitrogen accumulation ( In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(3): 71~ 74
- [20] Zhang M, Geng S, Smallwood K S. Assessing groundwater nitrate contamination for resource and landscape management. *Ambio*, 1998, 27(3): 170~ 174
- [21] Cahn M D. Cation and nitrate leaching in an oxisol of Brazilian Amazon. *Agronomy Journal*, 1993, 85:334~ 340
- [22] Kraus H H. The European Parliament and EC Environment Policy, Working Paper W-2. European Parliament, Luxembourg, 1993. 12

## NITRATE CONTAMINATION OF DEEP GROUNDWATER IN RURAL PLAIN AREAS OF BEIJING

Liu Hongbin<sup>1,2</sup> Zhang Yungui<sup>1,2</sup> Li Zhihong<sup>1,2</sup> Zhang Weili<sup>1,2</sup> Lin Bao<sup>1,2</sup>

(1 Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

(2 Key Lab of Plant Nutrition, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

**Abstract** Nitrate content of groundwater was surveyed from 1999 to 2000 in the rural plain areas of Beijing. The mean value of  $\text{NO}_3^-$ -N content of groundwater sampled from 481 wells was  $5.74 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N content in 48.4% of the wells was above  $2 \text{ mg L}^{-1}$ , implying that the quality of groundwater was affected by human activities, 21.0% above  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , which is the maximum permissible limit for drinking water, and 8.1 percent above  $20 \text{ mg L}^{-1}$ . The surveyed wells were grouped into two types based on depth and utilization, that is, drinking wells(DW), about 120 to 200 meters in depth, and irrigation wells(IW), about 70 to 100 meters in depth.  $\text{NO}_3^-$ -N contents of groundwater from 145 DWs and 336 IWs averaged  $5.16 \text{ mg L}^{-1}$  and  $5.98 \text{ mg L}^{-1}$  respectively, and 13.8% of DW and 24.1% of IW exceeded  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . Nitrate contamination of groundwater in the suburbs of Beijing, such as Haidian, Fengtai and Chaoyang Districts, is much worse than that in the exurbs of Beijing, such as Shunyi, Tongzhou, Changpin, and Daxing Districts. For suburban areas,  $\text{NO}_3^-$ -N content in 38.7% of DW and 52.6% of IW were above  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , but for exurban areas, only 3.0% of DWs and 15.3% of IWs above  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . It is confirmed that nitrate contaminated wells were mainly located in the long-term vegetable cultivation regions. In general, nitrate contamination of groundwater in Beijing is more serious than in developed countries, and hence it is necessary to take countemeasures to control nitrate pollution.

**Key words** Groundwater; Nitrate; Contamination; Rural plain areas; Beijing