

蓝田县西北区饮用井水中硝酸盐含量的 时空变异及分布规律

罗大成, 卢新卫, 锁惠娟, 余正军

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 农村居民饮用水主要来自当地未经处理的地下水。测定了蓝田县西北地区居民饮用井水中硝酸盐含量, 并采用地统计学方法对该区硝酸盐含量的时空变异及分布规律进行了分析。结果表明, 在不同时间和不同区域居民饮用井水中硝酸盐含量存在明显的趋势效应及变异性, 且其含量随井深增加而减少; 0—40 m 的硝酸盐污染状况比较严重, 尤其是在 0—20 m 硝酸盐污染状况最为严重。空间分析结果发现, 硝酸盐浓度较高区域主要分布在河谷阶地上游以及南部的部分塬区。

关键词: 居民饮用井水; 硝酸盐污染; 时空变异; 地统计学; 克里金法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0075-05

中图分类号: X523

Spatio-temporal Variability and Distribution Pattern of Nitrate Content in Drinking Well Water of Northwest Lantian County

LUO Da-cheng, LU Xin-wei, SUO Hui-juan, YU Zheng-jun

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Drinking water in rural areas mainly comes from the local untreated groundwater in northwest Lantian County, Shanaxi Province. The objective of this preliminary research was to investigate the spatio-temporal variation and distribution of nitrate content in drinking well water using geostatistical analysis method on the basis of nitrate content measurements. The results indicate that on the nitrate contents of groundwater varied substantially over different areas and different times and exhibited clear trend effect. Furthermore, the nitrate contents in the water decreased with the well depth. Serious nitrate contamination was found in the water collected from 0—40 m deep well, particularly in the water collected from wells of 0—20 m depth. The spatial analysis results show that the wells with higher nitrate concentration mainly distributed in the upstream of the river valley and a portion of highlands in the south.

Keywords: drinking well water; nitrate pollution; spatio-temporal variability; geostatistics; Kriging method

硝酸盐是引起水体富营养化和居民饮用水污染的重要指标之一。由于人口增长和粮食需求的增加, 大量化肥农药在农业生产中的使用所引起的水体硝酸盐污染已经成为全球日益严重的环境问题^[1-3]。Spalding 等^[4]指出, 硝酸盐是进入地下水中最频繁的污染物质。硝酸盐与人体健康关系密切, 饮用水中的硝酸盐超标会导致“兰婴”综合症和胃癌、结直肠癌、淋巴瘤等癌症疾病发病率升高^[5]。国内外有关地下水硝酸盐污染的研究主要是调查地下水硝酸盐污染

情况并进行常规统计^[6-7], 以及研究局部区域的地下水硝态氮含量的高低及影响因素^[8-9], 还有学者利用地统计学方法进行空间插值^[10-11], 但是在时间变化范围缺乏相关研究。

本文采用基于地统计学方法的克里金法(Kriging)对蓝田县西北区居民饮用井水硝态氮含量进行空间插值, 通过研究硝酸盐污染的时间和空间变异及分布规律, 明确蓝田县西北区地下水硝酸盐污染状况, 为控制硝酸盐污染提供科学依据。

收稿日期: 2010-12-15

修回日期: 2011-02-21

资助项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目“渭河陕西段及流域土壤中主要污染物地球化学研究”(NCET-05-0861); 中央高校基本科研业务费专项资金项目“室内环境放射性及辐射暴露研究”(GK200901008)

作者简介: 罗大成(1983—), 男(汉族), 陕西省富平县人, 硕士研究生, 研究方向为环境污染修复。E-mail: zhuxi3158@163.com。

通信作者: 卢新卫(1968—), 男(汉族), 陕西省蓝田县人, 博士, 教授, 博导, 研究方向为环境污染修复、环境评价与治理。E-mail: luxinwei@snnu.edu.cn。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

蓝田县地处秦岭北麓, 关中平原的东南部, 地理坐标为东经 $109^{\circ}17' - 109^{\circ}49'$, 北纬 $33^{\circ}50' - 34^{\circ}20'$, 行政上隶属于西安市, 总面积 $1\,977\text{ km}^2$, 总人口 66.5 万。该县地形地貌复杂, 地势由东南向西北倾斜, 南部为秦岭北麓延伸地带, 东部为骊山南麓沟壑区, 中西部川塬相间, 灞河水系镶嵌其中。地貌类型分为河谷冲积阶地、黄土台塬及秦岭山地。

蓝田县属暖温带半湿润大陆性季风气候, 多年平均降水量 833.30 mm 。水资源总量 $7.40 \times 10^8\text{ m}^3$, 已经开发 $1.20 \times 10^8\text{ m}^3$, 占水资源总量的 16.5% 。全县地表水年平均径流深 343 mm , 平均年总径流量 $6.90 \times 10^8\text{ m}^3$ 。地下水可开采量 $4.89 \times 10^7\text{ m}^3$, 年实际开发利用量 $2.57 \times 10^7\text{ m}^3$, 占可开采总量的 52.5% 。

1.2 样品采集和硝酸盐测定方法

2010 年 3 月和 9 月 2 次在蓝田县进行水样采集(采样点如图 1 所示)。采样使用 500 ml 聚乙烯瓶, 使用前先用稀硝酸溶液浸泡 24 h , 然后用自来水冲洗 3 遍。采样前, 使用被采水样清洗 3 遍, 打开水管让水缓慢自然畅流 10 min 左右, 然后采集满瓶水样。采样过程中测量并记录采样点的经纬度、井深及周边环境, 目测各采样点水样的色度、嗅和味、浑浊度、肉眼可见物等感官指标。采完样后密封瓶口, 带回实验室及时测量。采用美国戴安公司生产的 ICS-1500 型离子色谱仪测定硝酸盐含量。数据采用 Microsoft Excel 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析。空间分析采用 ArcGIS 9.2 地统计学模块下进行插值分析。

1.3 克里金方法

空间插值技术最基本的理论假设是空间位置上越邻近的点, 越具有相似特征, 在此基础上形成了各

种各样的插值方法。其中地统计学既考虑样本值的大小, 又重视样本空间位置以及样本间的距离, 弥补了经典统计学忽略空间方位的缺陷。克里金方法(Kriging)是地统计学的主要内容之一, 根据未知样点有限邻域内的若干已知样点数据对未知样点进行的一种线性无偏最优估计, 它考虑了样本点的形状、大小和空间方位, 与未知样点的相互空间位置关系, 以及变异函数提供的结构信息, 所以比其它传统的估计方法更精确, 更符合实际^[12]。本文采用克里金法对蓝田县西北区居民饮用井水中硝酸盐含量进行时间和空间变异特征分析, 以期揭示蓝田县地下水硝酸盐空间信息的特征和变化规律。

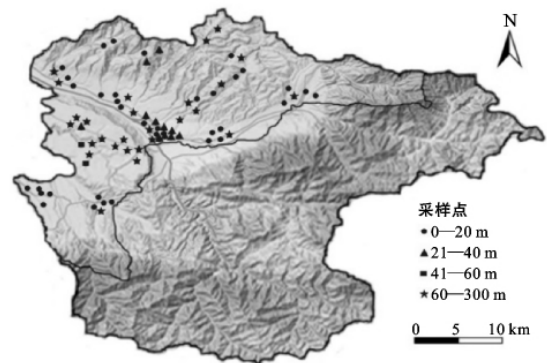


图 1 蓝田县地下井水采样点空间分布

2 结果与分析

2.1 居民饮用井水硝酸盐含量水平

对蓝田县 3 月和 9 月 2 次采样的 76 个居民饮用井水硝酸盐含量数据进行经典统计分析, 得到其统计特征值分别为: 均值 53.15 和 70.01 mg/L , 最大值 259.27 和 294.67 mg/L , 最小值 1.19 和 4.24 mg/L , 标准差 48.39 和 66.59 mg/L , 变异系数 0.91 和 0.95 。数据经过对数变换可以达到对数正态分布。图 2 为硝酸盐含量数据分布直方图。

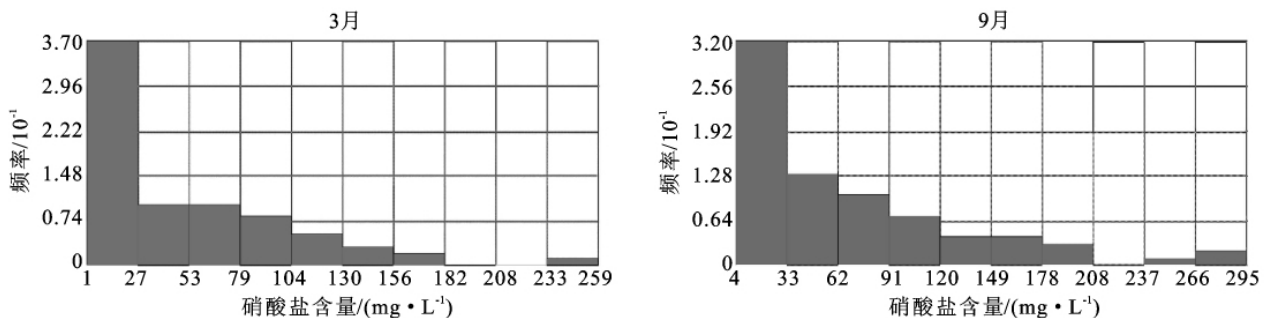


图 2 蓝田县硝酸盐含量数据直方分布

研究区域 2 次水样硝酸盐含量的变异程度比较大, 标准差分别达到了 48.39 和 66.59 mg/L , 这可能

与各地的土壤性质、施肥情况、耕种制度、降雨量等因素有关。

从表 1 中可看出,蓝田县居民饮用井水中硝酸盐含量明显高于其它地区,2 次采样硝酸盐含量的平均值分别是山东省地下水硝酸盐含量平均值 1.8 和 2.4 倍,天津市的 3.4 和 4.5 倍,延边的 3.7 和 4.9 倍,成都市的 10.9 和 14.4 倍。蓝田县部分居民饮用井水硝酸盐含量高于我国生活饮用水卫生标准规定的地下水资源浓度限值 88 mg/L。说明蓝田县地区居民饮用井水硝酸盐污染已经比较严重^[13-16]。

表 1 蓝田县与其它城市地下水硝酸盐含量对比 mg/L

地区	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
蓝天县(3月)	1.19	259.27	53.15	48.39	0.91
蓝天县(9月)	4.24	294.67	70.01	66.59	0.95
山东	0.30	184.60	29.75	28.50	0.96
天津	0.02	110.48	15.56	26.95	1.73
延边	0.44	87.08	14.4	—	—
青岛	0.11	107.00	—	—	—
成都	0.59	42.15	4.87	7.65	1.57

表 2 是不同时间和不同深度的居民饮用井水中硝酸盐的含量,可以看出 3 月份(枯水期)居民饮用井水硝酸盐平均含量 53.15 mg/L,明显小于 9 月份(丰水期)的 70.01 mg/L。而且不同深度下的硝酸盐含量也具有相同的情形。说明在丰水期硝酸盐污染比枯水期严重,这可能与不同时期人类生产生活方式有关。从表 2 中可以看出,随着井深增加,水中硝酸盐含量明显减少。硝酸盐污染在 0~40 m 深最严重,尤其是在 0~20 m 深的井水中其平均含量分别是 68.14 和 98.94 mg/L,且只有 3 个样品低于 10 mg/L;20~40 m 深的井水中的平均含量分别为 53.18 和 60.43 mg/L;40~60 m 深的井水中的平均含量分别为 50.29 和 50.76 mg/L;60~300 m 深的井水中的平均含量分别为 33.35 和 36.76 mg/L,情况稍好。值得注意的是,在北部地区有一处采样点井深为 300 m,硝酸盐含量为 21.6 mg/L,说明蓝田县地下水硝酸盐污染已经影响到地下 300 m 水深处,如果不采取有效预防措施,污染势必更加严重。

表 2 不同时间和不同深度居民饮用井水硝酸盐浓度比较

深度/m	样品数	占样品百分比/%	平均值/ (mg·L ⁻¹)	地下水硝酸盐含量/(mg·L ⁻¹)						
				<20		20~50		>50		
				数目	百分比/%	数目	百分比/%	数目	百分比/%	
3月	0—20	36	47.37	68.14	8	22.22	8	22.22	20	55.56
	21—40	11	14.47	53.18	1	9.09	5	45.45	5	45.45
	41—60	2	2.63	50.29	0	0.00	1	50.00	1	50.00
	61—300	27	35.53	33.35	6	22.22	18	66.67	3	11.11
	合计	76	100.00	53.15	15	—	32	—	29	—
9月	0—20	36	47.37	98.94	8	22.22	5	13.89	23	63.89
	21—40	11	14.47	60.43	2	18.18	3	27.27	6	54.55
	41—60	2	2.63	50.76	0	0.00	1	50.00	1	50.00
	61—300	27	35.53	36.76	6	22.22	17	62.96	4	14.82
	合计	76	100.00	70.01	16	—	26	—	34	—

2.2 硝酸盐含量的空间变化特征

由于多种因素的影响,区域地下水硝酸盐含量的空间分布常呈明显的趋势特征和异向性分布。趋势分析可以简单而直观地表现空间分布,并且可以找到插值的最佳多项式。图 3 为地下水硝酸盐含量的全局趋势效应分析示意图。图中 X 轴表示正东方向,Y 轴表示正北方向,Z 轴表示各采样点测定值的大小;左后投影面上的线表示东—西向的全局性趋势效应变化,右后投影面上的线表示的是南—北向全局性趋势效应变化。从图 3 中可以看出,经过旋转采样点地下水硝酸盐含量存在明显的趋势效应,3 月份东西方向投影成明显的“U”型趋势线,南北方向投影成明显的倒置的“U”型趋势线。9 月份东西方向和南北方向

都投影成明显的“U”型趋势线。分别能够用一个二次方程拟合来反映采样数据集的全局趋势。

对于有空间变异结构方差的地下水硝酸盐含量,在半方差结构模型的基础上,并考虑各向异性和趋势效应,利用克里金差值方法,获得了研究区地下水硝酸盐含量的空间分布格局(图 4)。地下水硝酸盐含量的空间分布格局图进一步表明研究区地下水硝酸盐含量分布具有一定的时间和空间差异性,并决定了空间格局的存在。从插值结果中可以方便地了解到地下水硝酸盐含量的斑块大小、形状及空间分布等具有显著的差异,而且不同时间相同地点所采样品具有显著的时间差异性,这些差异性存在由高到低分布梯度规律。

从图 4 可以看出河谷阶地以及南部部分塬区的硝酸盐含量比较高,其中河谷阶地地区的硝酸盐含量最高,北部山区的硝酸盐含量最低。图中地下水硝酸

盐含量呈现从北部山区向河谷阶地再向南部塬区逐渐升高的趋势;从灞河上游向下游逐步降低的趋势,而且这种方向性效应比较明显。

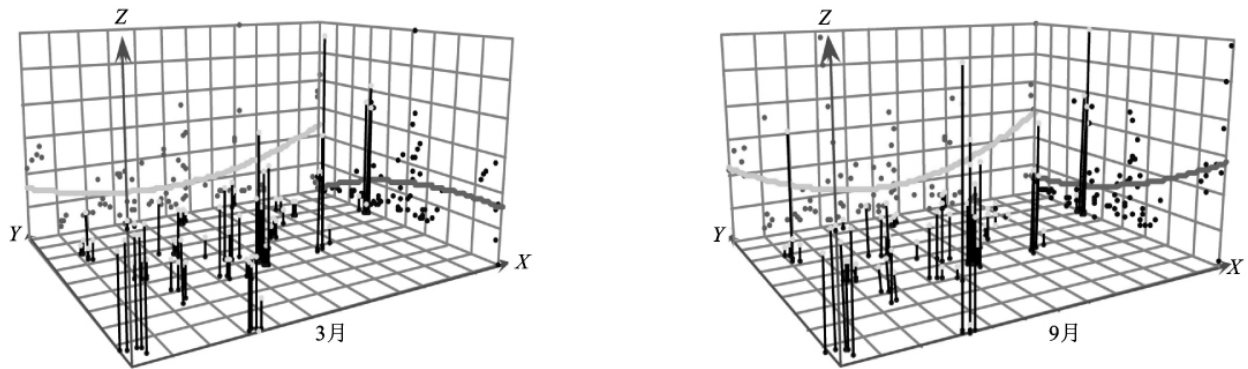


图 3 蓝田县地下水硝态氮含量的趋势效应

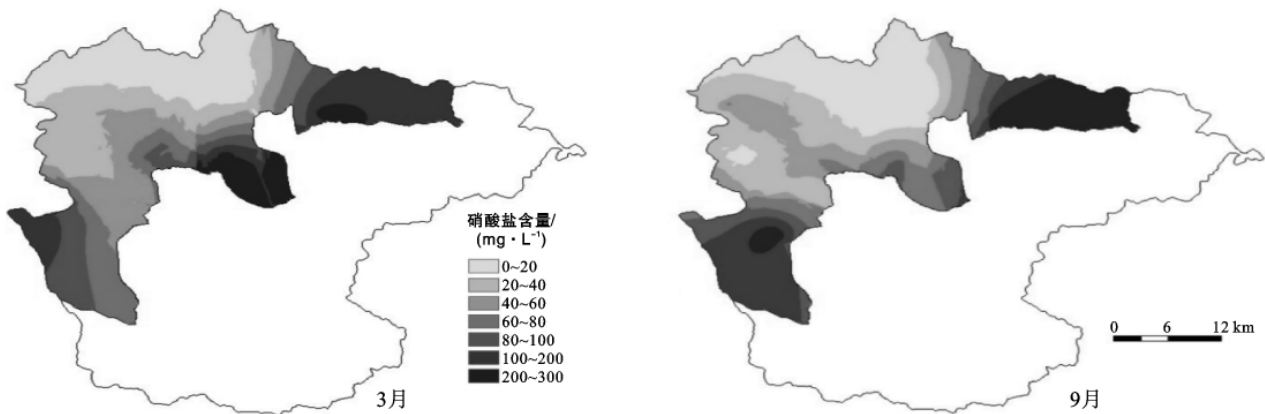


图 4 蓝田县地下井水硝酸盐含量的空间分布

3 讨论

硝酸盐是自然存在的离子,是氮循环的一部分,自然界存在的硝酸盐在地下水中通常很少。地下水中硝酸盐污染的来源主要有 2 种方式:一种是点源污染,即地表污水排放,通过河道渗漏污染地下水;另一种主要是农耕地面源污染,农耕区过多使用氮肥而污染了地下水^[6]。农业上长期施用高氮化肥是造成地下水、饮用水硝酸盐污染的重要原因之一,大量施用氮素化肥且利用率不断下降,使得由于土壤硝酸盐的淋溶污染地下水的潜在威胁日益增大^[17]。

蓝田县灞河阶地地区硝酸盐含量比其它 2 个区域高,主要是由于该区域紧邻灞河,地下水水位较浅,由于人类活动频繁,很容易受到点源污染和面源污染。该区域的硝酸盐含量超出我国生活饮用水水质标准(GB 5749—2006)多倍,最高超出 3 倍。南部塬区北部硝酸盐含量较低,是由于该区域处于白鹿原,

居民以种植业为主,此外,土壤层较厚,硝酸盐下渗到地下水的速度比较慢,以致硝酸盐含量较低。该区域大部分水样的硝酸盐含量已经超标,说明该区域农业污染已经影响到地下水水质,如果不加以治理,水质将会更加恶化。南部塬区的南部位于八里塬区,该区地下水水位相对较浅,一般在 5~10 m。采样过程中发现该区的水污染主要是由于生活污水的不合理排放污染了浅层地下水,从而硝酸盐含量也是比较高。北部山区的硝酸盐含量最小,也是超标率最低的区域,这可能与该区域地貌类型以及耕作类型有关。北部山区人们主要在山坡开垦地进行耕种,并且耕作过程中较少进行灌溉和施肥,主要以土壤肥力为主,因此,并没有因过量使用含氮化肥而受到硝酸盐的污染。只是在采样过程中发现有不合理排污和随意堆放垃圾,这可能是导致个别水样出现超标的原因。蓝田县部分区域硝酸盐含量超出国家规定的生活饮用水水质标准的情况应该引起当地有关部门的重视,建

议科学合理地设置排污系统,改良种植模式和合理地使用含氮化肥,有效地控制的情况下水的污染。

4 结论

本文基于地统计学方法,研究了蓝田县部分区域居民饮用井水硝酸盐含量的时空变异与分布规律。分析结果表明,不同区域不同时间地下水硝酸盐含量存在明显的趋势效应及变异性,2次地下水采样点的平均硝酸盐含量分别为53.15和70.01 mg/L。其含量随深度的增加明显减少,在0—40 m硝酸盐污染严重,尤其是在0—20 m深处硝酸盐污染最为严重。在9月份(丰水期)采样的硝酸盐含量明显高于3月份(枯水期)采样的硝酸盐含量。克里金法空间插值结果表明,地下水硝酸盐含量分布呈西北高东南低的方向效应,其中河谷阶地和南部塬区的南部污染最为严重。通过对污染区地下水硝酸盐污染情况的分析,不合理的排污系统和农业氮肥的过量使用是造成地下水硝酸盐污染的主要原因,科学合理地设置排污系统,改良种植模式和合理使用含氮化肥是解决地下水硝酸盐污染的有效途径。

[参 考 文 献]

- [1] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形式估计及控制对策 I: 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.
- [2] Babiker I S, Mohamed A A M, Terao H, et al. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system [J]. *Environment International*, 2004, 29: 1009-1017.
- [3] Almasri M N, Kaluarachchi J J. Implication of on-ground nitrogen loading and soil transformations on groundwater quality management[J]. *Journal of American Water Resources Association*, 2004, 40(1): 165-168.
- [4] Spalding R F, Exner M E. Occurrence of nitrate in groundwater: a review [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22: 392-402.
- [5] Gulis G, Czompolyova M, Cerhan J R. An ecologic study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava Distric, Slovakia [J]. *Environmental Research*, 2002, 88: 182-187.
- [6] 赵秀春,王成见,孟春霞. 青岛市地下水中硝酸盐氮的污染及其影响因素分析[J]. *水文*, 2008, 28(5): 94-96.
- [7] 汪仁,解占军,华利民,等. 辽宁省蔬菜主产区地下水硝酸盐污染调查[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(15): 7132-7133.
- [8] Almasri M N, Kaluarachchi J J. Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground water in agriculture-dominated watersheds [J]. *Journal of Hydrology*, 2004, 295(1-4): 225-245.
- [9] Hajhamad L, Almasri M N. Assessment of nitrate contamination of groundwater using lumped-parameter models [J]. *Environmental Modeling & Software*, 2009, 24: 1073-1087.
- [10] 陈淑峰,胡克林,刘仲兰,等. 华北平原桓台县地下水硝态氮含量的空间变异规律及其成因分析[J]. *水科学进展*, 2008, 19(4): 80-87.
- [11] 王正祥,高贤彪,李明悦,等. 天津市水体硝酸盐污染调查与空间分布研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(3): 592-596.
- [12] 王学军,李木刚,陶澍. 土壤微量金属含量的空间分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 34-47.
- [13] 刘兴权,许晶玉,江丽华,等. 山东省种植区地下水硝酸盐污染空间变异及分布规律研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(6): 1172-1179.
- [14] 王正祥,高贤彪,李明悦,等. 天津市水体硝酸盐污染调查与空间分布研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(3): 592-596.
- [15] 朴春香,金东日,刘发现. 延边蔬菜种植区地下水中硝酸盐污染分析[J]. *延边大学农学学报*, 2007, 29(3): 201-204.
- [16] 刘英华,张世熔,张素兰,等. 成都平原地下水硝酸盐含量空间变异研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(1): 114-118.
- [17] 张维理,田哲旭,张宁,等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(2): 80-87.