

天津市水体硝酸盐污染调查与空间分布研究

王正祥, 高贤彪, 李明悦, 潘 洁, 于彩虹

(天津市农业资源与环境研究所, 天津 300192)

摘 要:通过现场采样及室内分析,对天津地区的 201 个水样进行了硝酸盐污染现状调查研究。结果表明,各类型水体之间硝酸盐浓度存在明显差异。其中,主要水库、河流未发生硝酸盐污染。少部分排污河与农田排灌沟渠水体有硝酸盐污染倾向。地下水硝酸盐浓度较高,平均值达到 $15.56 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,随着地下水深度的加深,地下水硝酸盐浓度呈明显的下降趋势。0~100 m 的浅层地下水硝酸盐污染状况比较严重,而大于 100 m 的地下水尚未发生硝酸盐的污染。浅层地下水硝酸盐污染程度又与农区种植类型密切相关,大部分蔬菜种植区浅层地下水硝酸盐污染状况十分严重。运用 Kriging 法绘制了地下水硝酸盐浓度的空间分布图,表明天津市地下水硝酸盐污染存在明显的地区差异性。地下水硝酸盐浓度较高的区域主要分布在武清、西青、静海及宝坻等地区的蔬菜种植区。

关键词:硝酸盐污染;地下水;空间分布

中图分类号:X832 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)03-0592-05

Investigation and Spatial Distribution on Nitrate Contamination in Water of Tianjin

WANG Zheng-xiang, GAO Xian-biao, LI Ming-yue, PAN Jie, YU Cai-hong

(Tianjin Institute of Agriculture Resources and Environment Sciences, Tianjin 300192, China)

Abstract: The status of the nitrate contamination in water were investigated by sampling for 201 samples in Tianjin area. The results showed that there were significant differences on nitrate concentration in different types of water. Among them, the main reservoirs and rivers did not polluted by nitrate but there was a trend of nitrate contamination in little part of sewage drainage river and drainage ditch. The nitrate concentration in groundwater was higher with the average level $15.56 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. With the groundwater depth increasing, there was an obvious decreasing trend of nitrate concentration in groundwater. The nitrate contamination was serious in the 0~100 m depth shallow groundwater. Especially there was very serious for nitrate contamination in the 0~50 m depth shallow groundwater but the nitrate pollution did not taken place in the groundwater under 100 m depth. However there was a high correlation between the extent of nitrate pollution of shallow groundwater and cropping types in agricultural area. In the most of vegetable planting areas, the nitrate pollution had been very serious in the shallow groundwater. The map of spatial distribution of nitrate concentration in groundwater was plotted by Kriging method. The results indicated that there were significant regional differences on nitrate contamination of groundwater in Tianjin area. The areas with higher nitrate concentration in groundwater were mainly distributed in vegetable fields for Wuqing, Xiqing, Jinghai and Baodi District etc., respectively. The levels of fertilizer application were investigated from the farmer questionnaire. It showed that there was a positive correlation between nitrate concentrate in groundwater and the level of nitrogen application in the vegetable field. The high level of nitrogen application was main route which resulted in nitrate pollution in groundwater in Tianjin vegetable area.

Keywords: nitrate contamination; groundwater; spatial distribution

硝酸盐是引起水体富营养化和影响饮用水质的重要水体污染指标之一,由于人口增长和粮食需求的增加,水体硝酸盐污染已成为全球范围内日益严重的

问题^[1-3]。研究表明,硝酸盐是进入地下水中最频繁的污染物质^[4]。饮用水中的硝酸盐会导致“兰婴”综合症和胃癌、结直肠癌、淋巴瘤等癌症发病率升高^[5]。为了全面了解本市主要水体硝酸盐浓度及分布规律,通过对全市 201 个水体样本硝酸盐浓度的检测,分析了天津市各类水体硝酸盐污染特征,为进一步研究硝酸盐对人体的危害及对硝酸盐污染的防治提供基础数据。

收稿日期:2008-06-16

基金项目:农业部农业生态环境保护(2110402)

作者简介:王正祥(1963—),男,四川人,副研究员,主要从事植物营养与肥料研究。E-mail:zx.wang@163.com

1 材料与方法

1.1 区域选择

天津地处华北平原东北部,东临渤海,北枕燕山,位于北纬 $38^{\circ}33' \sim 40^{\circ}15'$,东经 $116^{\circ}42' \sim 118^{\circ}03'$ 之间,属于暖温带半湿润大陆季风型气候,年平均气温为 11°C ,年平均降水量约为 $500 \sim 690\text{ mm}$ 。

1.2 样品采集及测定方法

此次调查研究于 2005 年 6 月中旬进行,分别对本市主要河流上、中、下游断面、排污河道、排灌沟渠、水库和地下水进行水样采集,并重点进行了不同深度和不同种植类型区的地下水样品采集,共采集水样 201 个(图 1),采样同时对样品采集点进行 GPS 定位,记录采样点经纬度,同时对水源用途、氮肥施用水平及附近有无工厂或养殖场等相关资料进行调查并填写登记表。样品采集后放入装有冰块保温箱带回,当天化验。分析前对略带混浊的水样进行过滤。采用紫外分光光度计法测定水样中硝酸盐浓度。数据采用 Microsoft Excel 和 SPSS 12.0 软件进行统计分析。

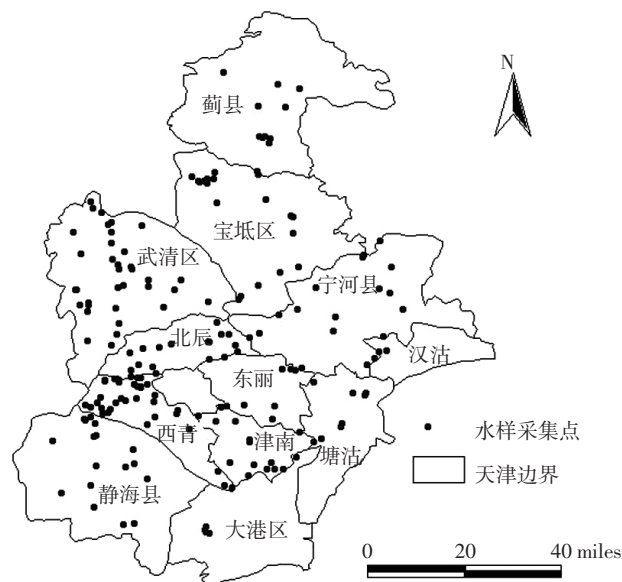


图 1 天津市水样采集点分布图

Figure 1 Map of sampling points in Tianjin

2 结果与讨论

2.1 天津市水体(地表水、地下水)硝酸盐浓度描述性统计分析

本次调查研究水样采集点类型包括河流、水库、排污河、排灌沟渠以及地下水,分别占总样本数的 17.4%、6.5%、5%、18.4%、52.7%,基本涵盖了天津市

农业用水、工业用水及饮用水类型。

从表 1 中可以看出,201 个样点硝酸盐浓度总平均值为 $9.56\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,水体硝酸盐浓度总体水平不高。但不同类型水体之间硝酸盐浓度存在明显差异,水库、河流、排灌沟渠、排污河和地下水硝酸盐浓度平均值分别为 1.97 、 2.55 、 5.49 、 6.12 和 $15.56\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。而且各类型水体硝酸盐浓度变化范围也很大,其变异系数均大于 1,最高达到了 3.34(农田排灌沟渠),属于高变异强度。

表 1 不同类型水体硝酸盐浓度统计分析

Table 1 Statistical analysis of nitrate concentration in various types of water bodies

水样类型	样本数/个	最小值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	最大值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	标准差	变异系数
水库	13	0.15	15.58	1.97	4.30	2.19
河流	35	0.37	18.03	2.55	3.84	1.51
农田排灌沟渠	37	0.15	111.66	5.49	18.38	3.34
排污河	10	0.92	18.71	6.12	7.34	1.20
地下水	106	0.02	110.48	15.56	26.95	1.73
全部	201	0.02	111.66	9.56	21.39	2.24

2.2 天津市地表水水体硝酸盐污染现状分析

天津市主要水库水体硝酸盐浓度总体处于较低水平,除鸭淀水库硝酸盐浓度($15.58\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)较高,处于轻度污染之外,其余水库水体硝酸盐浓度均低于 $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,尚未发生硝酸盐污染情况。根据实际调查分析,鸭淀水库硝酸盐浓度较高原因可能与近年来集中发展渔业养殖基地、大量饲料的投入有关。

对天津市主要河流水体硝酸盐浓度进行了统计分析。从图 2 中可以看出,各条河流水体硝酸盐浓度各不相同。子牙河、青龙河和永金引河水体硝酸盐浓度均低于 $1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,独流碱河水体硝酸盐浓度最高,为 $10.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,是青龙河的 19 倍。其余河流水体硝酸盐浓度在 $2 \sim 5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间。根据实际调查情况来看,围河发展水产养殖、大量畜禽粪便的排放是造成部分河流水体硝酸盐浓度偏高的两个主要原因。

天津市主要排污河水体硝酸盐浓度平均值处于较低水平,其中大型排污河如:北京排污河、南排污河、北排污河和金钟河等硝酸盐浓度均低于 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,尚未发生硝酸盐污染情况。硝酸盐浓度较高的几个样点主要分布于市郊的排污沟汇集的小型排污河道。

天津市农田排灌沟渠水体硝酸盐浓度平均值处于较低水平,其中 86.5% 的调查样点低于 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 水平,但有 8.1% 的样点超过 $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,这些样点均处于

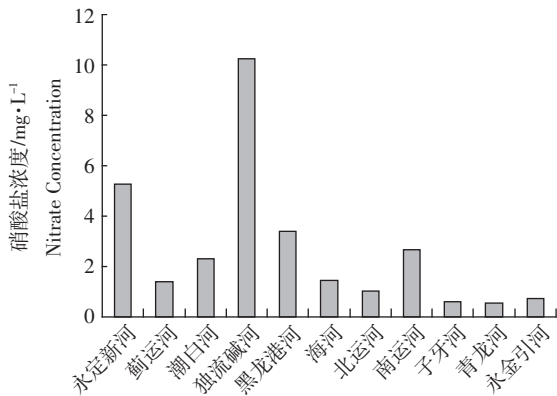


图 2 天津市主要河流水体硝酸盐浓度状况

Figure 2 Nitrate concentration in main rivers of Tianjin

市郊蔬菜种植区,硝酸盐浓度最高值达 111.66 mg·L⁻¹,硝酸盐污染情况比较严重。

2.3 天津市地下水硝酸盐污染现状分析

2.3.1 不同深度地下水硝酸盐浓度的比较分析

表 2 统计了不同深度地下水硝酸盐浓度状况,可以看出天津市地下水硝酸盐浓度与地下水深度有比较密切的联系,随着地下水深度的加深,地下水硝酸盐浓度呈明显的下降趋势。小于 10 m 的浅井水硝酸盐平均浓度为 21.6 mg·L⁻¹,其中 40%的样点硝酸盐浓度超过了 20 mg·L⁻¹,硝酸盐污染十分严重。11~50 m 浅井水硝酸盐平均浓度为 28.4 mg·L⁻¹,其中 42.9%的样点超过了 20 mg·L⁻¹,硝酸盐污染也十分严重。51~100 m 样点的硝酸盐平均浓度为 9.37 mg·L⁻¹,其中也有 12.5%的样点超过了 20 mg·L⁻¹,说明部分地区也已处于硝酸盐污染状态。目前尚未污染的样点,也已经积累了一定浓度的硝酸盐,若不及时采取措施,则污染继续加重的趋势十分明显。100 m 以下的地下水硝酸盐浓度平均为 0.86 mg·L⁻¹,处于较低水平,尚未发生硝酸盐污染。

2.3.2 不同种植类型区浅层地下水硝酸盐浓度的比较分析

此次调查研究采样点分布的种植类型有旱田、水

田、林地和蔬菜,在此只分析研究蔬菜种植区与其他 3 种植类型区之间的差别。

通过对小于 100 m 深的浅层地下水硝酸盐浓度状况的进一步分析,可以看出(见表 3):蔬菜种植区 0~100 m 的浅层地下水硝酸盐平均浓度高达 31.8 mg·L⁻¹,而其他作物种植区平均浓度为 13.2 mg·L⁻¹。其中 0~50 m 地下水样中蔬菜区硝酸盐平均浓度高达 30.1 mg·L⁻¹,非蔬菜区为 21.4 mg·L⁻¹。51~100 m 水样中蔬菜区硝酸盐平均浓度高达 45.1 mg·L⁻¹,而非蔬菜区仅为 1.13 mg·L⁻¹。可见在浅层地下水中,蔬菜种植区的硝酸盐浓度已严重超标。51~100 m 水样中有 1/3 的样点硝酸盐浓度在 5~10 mg·L⁻¹ 之间,已出现污染迹象,这部分样点若不加以有效的防治措施,则势必向污染更为严重的程度发展,对该地区地下水水质构成一定的威胁。

浅层地下水硝酸盐污染的这种差异,与不同种植类型区的化学氮肥施用水平是一致的。此次调查中我们发现,蔬菜种植区由于复种指数较高,一般为一年三茬,年化学纯氮施用量最低的也在 900 kg·hm⁻² 左右,而最高的达到了 2 250 kg·hm⁻²,平均施用量为 1 500 kg·hm⁻²。而大田作物一般为一年一茬或小麦/玉米轮作,年化学纯氮使用量在 150~600 kg·hm⁻² 之间,平均施用量为 450 kg·hm⁻²。这说明氮肥施用量与不同种植类型区地下水硝酸盐浓度呈正相关。施用的氮素中只有不被作物吸收的部分才留在土壤中,进而通过淋洗等方式进入地下水,因此蔬菜区和大田作物种植区之间氮肥施用量的差异幅度与地下水硝酸盐浓度的差异幅度并不是一致的。蔬菜区氮肥施用量偏高则地下水硝酸盐浓度也偏高,说明天津市蔬菜种植区普遍存在氮肥施用不合理现象,氮肥利用率偏低,对地下水的硝酸盐污染起到了主要的作用。

2.4 天津市地下水硝酸盐污染空间分布特征

基于取样点实测数据,在半方差结构分析和球状模型套合的基础上,结合普通 Kriging 插值方法,获得

表 2 不同深度地下水硝酸盐浓度统计表
Table 2 Nitrate concentration in different depth of groundwater

样点深度/m	样本数/个	占总样本/%	平均值/mg·L ⁻¹	硝酸盐浓度/mg·L ⁻¹					
				<10		10~20		>20	
				样本数/个	占样本/%	样本数/个	占样本/%	样本数/个	占样本/%
0~10	15	14.2	21.6	8	53.4	1	6.7	6	40
11~50	28	26.4	28.4	13	46.4	3	10.7	12	42.9
51~100	16	15.1	9.37	13	81.3	1	6.3	2	12.5
>100	47	44.3	0.86	46	97.9	1	2.1	0	0

表 3 不同种植类型区浅层地下水硝酸盐浓度统计

Table 3 Nitrate concentration in shallow groundwater in different planting area

样点深度/m	种植类型	样本数/个	占总样本/%	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	硝酸盐浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$					
					<10		10~20		>20	
					个数	%	个数	%	个数	%
0~50	蔬菜区	24	40.7	30.1	11	45.8	1	4.2	12	50
	其他	19	32.2	21.4	10	52.6	3	15.8	6	31.6
51~100	蔬菜区	3	5.09	45.1	1	33.0	0	0	2	66.7
	其他	13	22.0	1.13	12	92.3	1	7.69	0	0

了天津市不同时期地下水硝酸盐浓度的等值线图(图 3),从中可以明显看出天津市地下水硝酸盐浓度的空间分布状况。Kriging 插值借助于 ArcGIS 8.3 的地统计模块完成。

由图 3 看出,天津市地下水硝酸盐浓度表现出明显的地区差异性。地下水硝酸盐浓度高的区域集中分布在武清、西青以及静海,这部分地区大多为老菜田或温室大棚。宝坻北部及蓟县山前冲积平原也有部分地区地下水硝酸盐浓度较高,其中宝坻北部地下水硝酸盐浓度较高的区域主要种植农作物为大葱、大蒜等露地蔬菜,而蓟县地下水硝酸盐浓度较高的区域主要分布在山前果树带。根据实际调查结果分析,这些区域地下水硝酸盐浓度偏高主要与氮素肥料的不合理施用有关。宁河、宝坻东部及汉沽等地区地下水硝酸盐浓度总体上水平不高。大港及塘沽也有部分地区地下水硝酸盐浓度较高,主要是由于采样点水位较浅的原因。

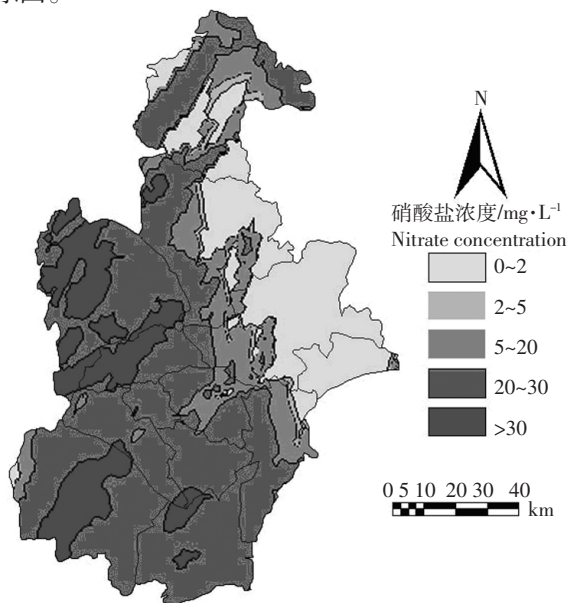


图 3 2005 年 6 月天津市地下水硝酸盐浓度空间分布图

Figure 3 Spatial distribution map of nitrate concentration in groundwater of Tianjin

3 结论

天津市水体硝酸盐浓度总体水平不高,201 个水样总平均值为 $9.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,但各类型水体之间存在明显的差异,硝酸盐平均浓度大小依次为小于 100 m 井>排污河>排灌沟渠>河流>水库>大于 100 m 井。且受多种因素的影响,各类型水体硝酸盐浓度均属高变异程度。

天津市地下水硝酸盐浓度与地下水深度有比较密切的联系,随着地下水深度的加深,地下水硝酸盐浓度呈明显的下降趋势。0~100 m 的浅层地下水硝酸盐污染状况比较严重,其中 0~50 m 的浅层地下水硝酸盐污染状况十分严重,而大于 100 m 的地下水尚未发生硝酸盐的污染。浅层地下水硝酸盐污染程度又与农区种植类型密切相关,大部分蔬菜种植区浅层地下水硝酸盐污染状况已十分严重。

农区氮肥施用量对地下水硝酸盐浓度有明显的影响作用。过量施用的氮肥直接进入土壤,进一步经淋洗等过程进入地下水,是农区地下水硝酸盐污染的主要原因,尤其以蔬菜种植区最为明显。氮肥施用量与同区地下水硝酸盐浓度呈正相关。调查研究表明,天津市蔬菜种植区普遍存在氮肥施用不合理现象,氮肥利用率偏低。因此,控制化肥施用量、提高氮肥利用率,是防止地下水硝酸盐污染的根本途径。

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(7): 1008-1017.
ZHANG Wei-li, WU Shu-xia, JI Hong-jie, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. estimation of agriculture non-point source pollution in China in early 21 century[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004(7): 1008-1017.
- [2] Babiker I S, Mohamed A A, 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 H, J J Kaluarachchi. 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] Gabriel Gulis, Monika Czompolyova James R Cerhan. An ecologic study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava Distric, Slovakia[J]. *Environmental Research Section A*, 2002, 88: 182-187.
- [6] 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.
- ZHANG Wei-li, TIAN Zhe-xu, ZHANG Ning, et al. Investigation of nitrate pollution in groundwater due to nitrogen fertilization in agriculture in North China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 1995, 1(2): 80-87.
- [7] 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[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 385-390.
- LIU Hong-bin, LEI Bao-kun, ZHANG Yun-gui, et al. Investigation and evaluation on nitrate pollution in groundwater of Shunyi District[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2001, 7(4): 385-390.
- [8] 赵同科, 张成军, 杜连凤, 等. 环渤海七省(市)地下水硝酸盐含量调查[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 779-783.
- ZHAO Tong-ke, ZHANG Cheng-jun, DU Lian-feng, et al. Investigation on nitrate concentration in groundwater in seven provinces (City) surrounding the Bo-Hai Sea[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(2): 779-783.
- [9] 吴大付, 陈红卫. 粮食作物不同种植模式对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(1): 107-109.
- WU Da-fu, CHEN Hong-wei. Effect of different planting patterns of food crop on nitrate content in underground water[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2007, 28(1): 107-109.
- [10] 董章杭, 李 季, 孙丽梅. 集约化蔬菜种植区化肥施用对地下水硝酸盐污染影响的研究——以“中国蔬菜之乡”山东省寿光市为例[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6): 1139-1144.
- DONG Zhang-hang, LI Ji, SUN Li-mei. Nitrate contamination in the groundwater of intensive vegetable cultivation areas in Shouguang City, Shandong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2005, 24(6): 1139-1144.
- [11] 王翠红, 黄启为, 张杨珠, 等. 露天蔬菜基地蔬菜-土壤-地下水硝酸盐污染状况评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(4): 374-377.
- WANG Cui-hong, HUANG Qi-wei, ZHANG Yang-zhu, et al. Evaluation on status of nitrate pollution in vegetables-soil-groundwater system in the open location of vegetables[J]. *Journal of Hunan Agriculture University*, 2004, 30(4): 374-377.
- [12] 刘光栋, 吴文良, 刘仲兰, 等. 华北农业高产粮区地下水面源污染特征及环境影响研究——以山东省桓台县为例[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 130-133.
- LIU Guang-dong, WU Wen-liang, LIU Zhong-lan, et al. Characteristics and environmental impact of non-point pollution of groundwater under the high-yield farmlands of North China—a case study from Huantai county, Shandong Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(2): 130-133.
- [13] 杜连凤, 赵同科, 安志装, 等. 菜地氮素循环途径及其环境效应综述[J]. 中国农学通报, 2008, 24(2): 414-418.
- DU Lian-feng, ZHAO Tong-ke, AN Zhi-zhuang, et al. Nitrogen cycling and environment effects in vegetable crop-soil system[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(2): 414-418.
- [14] 杨悦所, Wang John L. 基于 GIS 的农业面源硝酸盐地下水污染动态风险评价[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(2): 311-318.
- YANG Yue-suo, Wang John L. GIS-based dynamic risk assessment for groundwater nitrate pollution from agriculture diffuse sources[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2007, 37(2): 311-318.
- [15] 史 静, 张乃明, 褚素贞, 等. 滇池流域地下水硝酸盐污染特征及影响因素研究[J]. 农业环境科学学报, 2005(S1): 104-107.
- SHI Jing, ZHANG Nai-ming, CHU Su-zhen, et al. Goundwater nitrate pollution and the influencing factors in Dianchi watershed[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2005(S1): 104-107.
- [16] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 660-667.
- KOU Chang-lin, JU Xiao-tang, ZHANG Fu-suo. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of north China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 660-667.
- [17] 杨志新, 郑大伟, 冯圣东. 北京农田污水灌溉正负效应价值评价研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 202-205.
- YANG Zhi-xin, ZHENG Da-wei, FENG Sheng-dong. Economic evaluation of sewage irrigated agricultural lands in the rural suburbs of Beijing[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(5): 202-205.