

山东省地下水硝酸盐含量状况及影响因素研究

林海涛,江丽华,宋效宗,郑福丽,谭德水,高新昊,刘兆辉*

(山东省农业科学院土壤肥料研究所,济南 250100)

摘要 国内外大量研究表明,地下水硝酸盐污染已成为普遍问题。为了摸清山东省地下水硝酸盐污染状况,通过调查取样分析,对本省地下水硝酸盐含量状况及其影响因素进行了研究。结果表明,山东省地下水 NO_3^- -N 含量总体较低,平均为 $7.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,仅有 2% 的地下水超过了我国地下水质量标准(GB/T 14848—1993)。地区之间地下水硝酸盐含量有很大的差异,其中临沂市 NO_3^- -N 含量最高,达 $10.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。受降雨影响,雨季后地下水硝酸盐含量下降。农田利用类型对地下水硝酸盐含量影响较大,在粮田、设施菜地、露天菜地、果园 4 种类型中,设施菜地影响最大, NO_3^- -N 达到 $13.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其次为果园。随着埋藏深度的增加, NO_3^- -N 含量呈先升后降的趋势,最大平均值出现在埋深 20~50 m 的地下水中,达 $8.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

关键词 山东省;地下水;硝酸盐;影响因素;农田利用类型;地下水埋深

中图分类号: X523 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2011)02-0353-05

Nitrate Concentration of Groundwater and Its Affecting Factors in Shandong Province, China

LIN Hai-tao, JIANG Li-hua, SONG Xiao-zong, ZHENG Fu-li, TAN De-shui, GAO Xin-hao, LIU Zhao-hui*

(Institute of Soil and Fertilizer, Shandong Province Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract It was reported from many domestic and overseas studies that nitrate nitrogen (NO_3^- -N) pollution in groundwater had been a universal problem. As to evaluation the nitrate pollution status of groundwater in Shandong Province, a large-scale investigation and water-sampling analysis on NO_3^- -N concentration in local groundwater was performed, and the main influence factors of nitrate pollution were studied. The results showed that the average concentration of NO_3^- -N in groundwater was $7.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and only about 2% samples exceeded the criterion of national drinking water quality. In addition, the concentration of NO_3^- -N varied greatly due to different prefectural-level cities, with maximum concentration of $10.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ occurred in Linyi City. The average concentration of NO_3^- -N in groundwater was affected by rainfall and a lower NO_3^- -N concentration in groundwater was observed after rainy season. The concentration of NO_3^- -N in groundwater was greatly affected by land using type, and the maximum NO_3^- -N average concentration of $13.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ was observed in the protected vegetable land area and the second was in orchard. The concentration of NO_3^- -N in groundwater was also affected by water-sampling depth, and the maximum NO_3^- -N average concentration of $8.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ was observed in the water aquifer lies between 20 m and 50 m depth. There was a variation trend that NO_3^- -N concentration raised firstly and then declined as water-sampling depth increase.

Keywords Shandong Province; groundwater; NO_3^- -N; influence factor; land using type; depth of groundwater

大量医学研究表明,如果饮用被硝酸盐污染的地下水将会对人体造成危害,摄入过量的硝酸盐能够引

起婴儿的发绀症,特别是孕妇摄入大量的硝酸盐后会引引起婴儿先天畸形。瑞典最近的研究表明,婴儿猝死综合症可能与地下水硝酸盐含量有关^[1]。造成地下水硝酸盐污染的原因较多,但农业生产中过量施用氮肥是造成污染的重要原因^[4-5]。欧洲发达国家化学氮肥用量在持续增长 40 a 后于 20 世纪 80 年代中期达到顶点,为 $200 \text{ kgN}\cdot\text{hm}^{-2}$,与此同时,这些国家开始为农用氮肥引起地下水、饮用水硝酸盐污染的问题所困扰^[2-3]。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^[7-8]。山东省是一个农业大省,也是化学氮肥投入大省,2007 年山东省化学氮

收稿日期: 2010-07-12

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07425-001); 农业部科教司农业生态环境保护项目(华北地区大中城市郊区地下水硝酸盐含量调查与评价); 公益性行业(农业)科研专项经费项目“环渤海区域农业碳氮平衡定量评价及调控技术研究”(200803036); 山东省农业科学院高技术自主创新基金项目(2007YCX023-01)

作者简介: 林海涛(1978—),男,山东人,硕士,助理研究员,主要从事新型肥料研制、施肥与环境方面的研究。

E-mail: 54linhai@163.com

* 通讯作者: 刘兆辉 E-mail: liuzhaohui@saas.ac.cn

肥施用量为 193 万 t(折纯,不计复合肥中的氮),居全国第二,平均施氮量不少于 $300 \text{ kgN} \cdot \text{hm}^{-2}$ (引自山东省 2008 年统计年鉴)。在本省很有代表性的蔬菜、果树的氮肥用量远高于平均水平,特别是设施蔬菜氮肥用量高达 $1\ 351 \text{ kgN} \cdot \text{hm}^{-2}$ [6]。高量氮肥的投入带来了地下水硝酸盐污染的高风险,然而到目前为止,关于山东省地下水硝酸盐污染的报道也仅限于济南、青岛等地区硝酸盐污染状况的报道[9-10],而对山东省地下水硝酸盐含量的整体情况及其影响因素却鲜有报道。尽管 2005 年赵同科等对环渤海七省(市)(含山东省)地下水硝酸盐含量进行了调查,但仅对山东省总体情况进行了概述,而且并不能反映近年来山东省施肥量发生变化后,地下水硝酸盐含量的变化情况[11]。本文通过取样分析,农户/居民调查,对山东省地下水硝酸盐含量及其影响因素进行了分析。以期通过本项研究摸清本省地下水硝酸盐污染的整体状况,为山东省地下水硝酸盐污染的控制对策提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

山东省位于我国东部,面积为 15.67 万 km^2 ,鲁西南、鲁北为黄河泛滥冲积平原,鲁中、鲁东为山地丘陵,鲁南多洪冲积平原。气候属暖温带季风气候类型,雨热同季,雨季为 7 月到 9 月。年平均气温 $11 \sim 14 \text{ }^\circ\text{C}$,气温地区差异东西大于南北;年平均降雨量一般在 $550 \sim 950 \text{ mm}$ 之间,由东南向西北递减;光照资源充足,平均光照时数 $2\ 300 \sim 2\ 890 \text{ h}$ 。山东省主要的农田利用类型有粮田、果园、菜地,由于设施蔬菜在山东省很有代表性,又把菜地分为设施菜地和露天菜地。

1.2 地下水采样与硝态氮测定方法

分别于 2009 年 7 月、11 月对山东省 17 个地市 91 个县市区地下水进行取样分析,同时做农户施肥调查。两次共采样 410 个,涵盖农村、城郊、各类土地利用类型、不同深度的地下水(非一地)。其中在粮棉油类作物、设施蔬菜、露地蔬菜、果树种植区分别取得 292、25、20、62 个地下水样品。深度 $0 \sim 10$ 、 $10 \sim 20$ 、 $20 \sim 50$ 、 $50 \sim 100$ 、 $\geq 100 \text{ m}$ 的井分别为 80、109、123、41、

55 眼。布点时主要考虑大面积作物种植地区为采样区域。采样点依照作物种植类型如粮田、果园、设施菜地、露天菜地等来确定,代表区域面积大于 67 hm^2 。样品采集利用 GPS 系统精确定位,具体采样方法依据地下水环境监测技术规范(HJ/T 164—2004)。样品采集后带回实验室冷冻备测。地下水硝酸盐含量的测定采用紫外分光光度计法[12]。

2 结果与分析

2.1 山东省地下水硝酸盐含量总体状况

总体上,山东省地下水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量不高,范围从未检测到 $40.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均为 $7.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;从超标情况看,仅有 2%的地下水超过了我国地下水质量标准(GB/T 14848—1993),但按照世界卫生组织制定的饮用水硝酸盐含量标准(以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 计, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),则有 20.7%的地下水超标;从水质分布看,Ⅰ类水质占 16.3%,Ⅱ类水质占 12.0%,Ⅲ类水质占 69.8%,Ⅳ类水质占 1%,Ⅴ类水质占 1%(表 1)。本省地下水尽管硝酸盐含量及超标率不高,尚属清洁范围,但以Ⅲ类水质为主,约占 2/3 强,说明本省地下水已广泛受到人类活动的影响,面临着很高的硝酸盐污染风险。

2.2 不同地区间地下水硝酸盐含量差异

受施肥制度、水文、地质等的影响,山东省不同地区间地下水硝酸盐含量差异较大(表 2),平均含量为 $0.8 \sim 10.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,其中以临沂市含量最高,其后依次为潍坊、淄博、枣庄、烟台、泰安、青岛、日照、威海、济宁、菏泽、滨州、德州、聊城、东营。从超标情况来看,临沂最高为 11.1%,其次为淄博、枣庄、潍坊,分别为 6.3%、5.00%、1.4%,其他 11 个地市未超标。从水质等级分布看,17 个地市中烟台、泰安、潍坊、青岛、临沂、淄博、枣庄、日照、威海 9 个地市以Ⅲ类水质为主(分布频率 $> 50\%$),东营、聊城、滨州、德州、菏泽 5 个地市以Ⅳ类水质为主,只有济宁以Ⅱ类、Ⅲ类水质为主。从地域上看,鲁东、鲁南、鲁中水质较差,以Ⅲ类水质为主,鲁北、鲁西水质较好,以Ⅱ类水质为主。这可能与鲁东、鲁南、鲁中经济较发达,施肥量较高以及地形起伏有关。

表 1 山东省地下水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量情况

Table 1 Content of $\text{NO}_3\text{-N}$ in groundwater in Shandong Province

样品个数	范围/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	均值/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{NO}_3\text{-N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (GB/T 14848—1993)				
			≤ 2 (Ⅰ类)	≤ 5 (Ⅱ类)	≤ 20 (Ⅲ类)	≤ 30 (Ⅳ类)	> 30 (Ⅴ类)
分布频率/%							
410	0~40.5	7.4	16.3	12.0	69.8	1.0	1.0

表2 不同地区地下水 NO₃-N 含量差异Table 2 Comparisons of NO₃-N content in groundwater among different prefectural-level cities

地区	样品个数	范围/mg·L ⁻¹	均值/mg·L ⁻¹	分布频率/%				
				类	类	类	类	类
济南	2	0.5~1.1	0.8	100.0	0	0	0	0
东营	4	0~1.8	1.1	100.0	0	0	0	0
聊城	10	0.1~5.6	1.2	80.0	10.0	10.0	0	0
滨州	6	0~5.3	1.8	83.3	0	16.7	0	0
德州	10	0.1~5.8	1.3	90.0	0	10.0	0	0
菏泽	12	0~9.9	2.2	75.0	8.3	16.7	0	0
济宁	34	0~10.1	4.0	44.1	14.7	41.2	0	0
威海	16	0.8~9.9	6.1	12.5	31.3	56.3	0	0
莱芜	1	6.0~8.0	6.8	0	0	100.0	0	0
日照	16	0.6~10.1	6.8	6.3	25.0	68.8	0	0
青岛	46	0.2~10.2	7.8	4.3	13.0	82.6	0	0
泰安	23	0~10.3	7.8	4.3	8.7	87.0	0	0
烟台	78	1.6~10.7	8.2	1.3	11.5	87.2	0	0
枣庄	20	1.7~20.0	8.2	5.0	15.0	75.0	5.0	0
淄博	16	0~23.2	8.6	12.5	6.3	75.0	6.3	0
潍坊	71	0.8~34.3	9.9	2.8	12.7	83.1	0	1.4
临沂	45	0~40.5	10.6	6.7	6.7	75.6	4.4	6.7

2.3 不同时期地下水硝酸盐含量差异

降雨影响土壤中硝酸盐的淋溶和地下水的补给,从而影响地下水中硝酸盐含量。从表3可以看出,地下水 NO₃-N 含量在雨季前后有明显差异,雨季前高于雨季后,变异范围,雨季后小于雨季前。与雨季前相比,雨季后类水所占比例大幅增加,、类水比例下降,而、类水消失。雨季后 NO₃-N 含量降低可能与降雨对地下水的稀释有关,因为降雨所形成的地表径流是地下水重要的补给源,而地表水中 NO₃-N 含量很少超过 5 mg·L⁻¹。

2.4 影响地下水硝酸盐含量的因素

2.4.1 农田利用类型对地下水硝酸盐含量的影响

不同利用类型的农田,施肥量差异很大,因而对地下水硝酸盐含量的影响也可能不同。从图1a可以看出,不同农田利用类型对地下水硝酸盐含量的影响不同。NO₃-N 平均含量高低顺序为,设施菜地>果园>露天菜地>粮田,分别为 13.1、8.3、7.2、7.0 mg·L⁻¹。然

而超标率却是粮田>果园>设施菜地=露天菜地,其超标率分别为 2.4%、1.6%、0。从水质分布看,各种农田利用类型区的地下水均以类水为主,粮田区、类水所占比例之和最大,达到 33.9%(图1b)。氮肥用量大、利用率低可能是设施蔬菜种植区地下水硝酸盐含量高的主要原因^[13]。

2.4.2 埋深对地下水硝酸盐含量的影响

地下水中硝酸盐含量的变化主要受人类活动的影响,因此不同埋藏深度的地下水所受的影响也可能不同。从图2a可以看出,地下水埋深对地下水硝酸盐含量有明显影响。总体趋势是,在埋深 50 m 以下,地下水 NO₃-N 含量随深度的增加而增加,埋深 50 m 及以上,NO₃-N 含量随深度的增加而减少。埋深大于 100 m 的地下水 NO₃-N 含量最低,已达 6.1 mg·L⁻¹,说明硝酸盐污染已经影响到 100 m 以下的地下水。但应该说明的是,大于 200 m 地下水中的硝酸盐的来源可能与淋溶无关,更重要的可能来源于地质形成过程。

表3 不同时期地下水 NO₃-N 含量情况Table 3 NO₃-N content in groundwater in different stages

时期	样品个数	范围/mg·L ⁻¹	均值/mg·L ⁻¹	分布频率/%				
				类	类	类	类	类
雨季前	219	0~40.5	8.1	11.0	13.2	72.1	1.8	1.8
雨季后	191	0~11.7	6.8	22.5	10.5	67.0	0	0

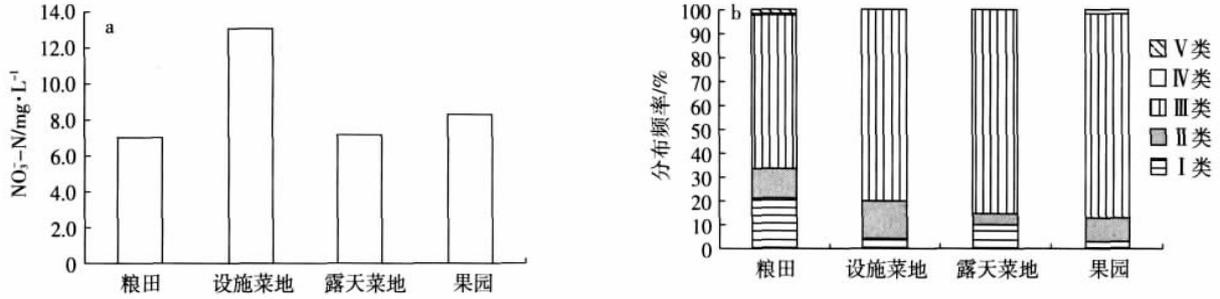


图1 不同农田利用类型对土壤地下水 NO₃-N 含量的影响

Figure 1 Effect of different using type of cropland on content of NO₃-N in ground water

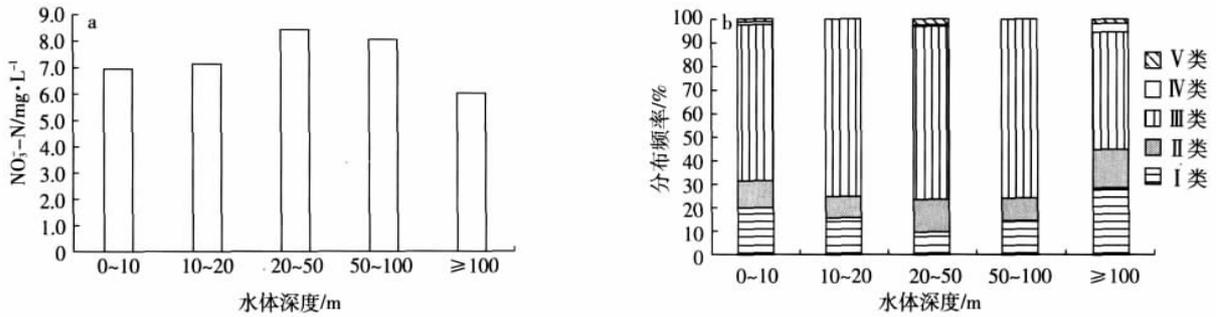


图2 不同水体深度对土壤地下水 NO₃-N 含量的影响

Figure 2 Effect of different water depth on content of NO₃-N in ground water

从图 2b 可以看出,不同埋深的地下水的水质分布也存在差异。总体趋势是,Ⅰ、Ⅱ类水所占比重在埋深 50 m 以下随深度的增加而减少,埋深 50 m 及以上随深度的增加而增加。不同埋深的地下水均以Ⅰ类水为主,其中埋深 ≥100 m 的地下水水质最好,Ⅰ、Ⅱ类水占 44.7%。

3 讨论

农业上长期过量施用氮肥是造成地下水硝酸盐污染的重要原因之一。施肥量的不同可能是造成不同农田利用类型区地下水硝酸盐含量差异的重要原因。与 2005 年赵同科等的研究相比,山东省地下水硝酸盐含量降低,超标率降低,Ⅰ、Ⅱ类水质比重下降,Ⅲ类水质所占比重上升,这一变化可能与施肥量减少有关。据我们在 2005 年所做的调查,不同作物类型的施氮量差异很大。以寿光为例,设施蔬菜全年通过化肥、有机肥带入的氮高达 2 810 kg·hm⁻² (12 个样点平均),露地蔬菜全年施氮量在 690 kg·hm⁻² (21 个样点平均),果树施氮量在 1 130 kg·hm⁻² (32 个样点平均)。以小麦-玉米轮作一年两茬为例,粮食作物全年施肥量在 510 kg·hm⁻² (102 个样点平均)。由于肥料价格上涨以及配方施肥项目的推广,农户一般按每年投入多少钱进行施肥,到 2008 年,寿光设施蔬菜全年施

氮量降至 2 230 kg·hm⁻² (19),露地蔬菜全年施氮量在 520 kg·hm⁻² (16),果树施氮量在 770 kg·hm⁻² (28),粮食作物全年施肥量在 430 kg·hm⁻² (81)。2009 年肥料价格下降,因此施氮量较 2008 年略有增加,寿光设施蔬菜全年施氮量达 2 590 kg·hm⁻² (18),露地蔬菜全年施氮量在 630 kg·hm⁻² (20),果树施氮量在 860 kg·hm⁻² (62),粮食作物全年施肥量在 450 kg·hm⁻² (202)。

地下水埋藏深度也会对硝酸盐含量产生影响,甚至大于施肥量的影响。从图 1 可以看出,设施蔬菜种植区地下水硝酸盐含量高,但并不超标,粮棉油料作物种植区地下水硝酸盐含量低,但存在超标现象,其原因可能与地下水埋深及地形、地貌有关。设施蔬菜种植区地下水埋深较深,不容易受污染,在所采集的 25 眼井中,最深的为 238 m,平均 73.3 m;从地形、地貌来看,这些地区地势平坦,多为平原,不会产生周边硝酸盐随地表径流向低洼地方汇集的情况。粮棉油料作物部分种植区地下水埋深较浅,相对容易受到污染,在超标的 7 眼井中,最深的为 30 m,最浅的仅为 3 m,平均为 20.2 m;从地形、地貌来看,这些地区多为山地、丘陵,饮水井位于坡地、沟底等地势相对低洼的地方,存在周边硝酸盐随地表径流汇集的情况。

前人的研究结果表明,硝酸盐含量随地下水埋深的增加而降低^[11,14],而本研究却发现埋深 0~50 m 的水

层硝酸盐含量随深度的增加而增加,0~10、10~20、20~50 m 地下水 NO_3^- -N 含量分别为 7.0、7.2、8.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。究其原因,可能与施氮量变化所能影响的深度有关。埋深 0~20 m 的地下水一般属于浅层地下水,较容易受到施氮量变化的影响,当施氮量降低时,这一水层的硝酸盐含量最先降低,而且埋深越浅,降低越快。

4 结论

(1)总体上,山东省地下水 NO_3^- -N 含量不高,含量范围从未检测到 40.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均水平为 7.4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。按照我国地下水质量标准(GB/T 14848—1993),仅有 2% 的地下水硝酸盐含量超标,尚属清洁范围,但若按照世界卫生组织制定的饮用水标准(10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$),仍有 20.7% 的地下水硝酸盐含量超标。山东省地下水以类水质为主,约占 69.8%,存在着很高的硝酸盐污染风险。

(2)不同地区之间差异明显,平均含量从 0.8~10.6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中以临沂市含量最高,超标率为 11.1%,淄博、枣庄、潍坊次之,超标率分别为 6.3%、5.00%、1.4%,其他 13 个地市未超标。不同地区水质状况存在差异。

(3)不同时期地下水硝酸盐含量不同,受降雨影响,雨季后低于雨季前。这可能与降雨对地下水的稀释有关。

(4)农田利用类型和水体深度对地下水硝酸盐含量的影响较大。设施菜地、果园施肥量较高,地下水硝酸盐含量明显高于粮田,平均值分别为 13.1、8.3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,而粮田近年来也受到地下水硝酸盐污染的潜在威胁, NO_3^- -N 含量在埋深 50 m 以下,随深度的增加而增加,埋深 50 m 及以上,随深度的增加而减少。0~10、10~20、20~50、50~100 及大于 100 m 地下水 NO_3^- -N 含量分别为 7.0、7.2、8.5、8.1、6.1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] George M, Wiklund L, Aastrup M, et al. Incidence and geographical distribution of sudden infant death syndrome in relation to content of nitrate in drinking water and groundwater levels[J]. *European Journal of Clinical Investigation*, 2001, 31: 1083-1094.
- [2] Tessendorff H. Nitrates in groundwater: A European problem of growing concern[J]. *Aqual*, 1985, 4: 192-193.
- [3] Overgaard K. Trends in nitrate pollution of groundwater in Denmark[J]. *Nordic Hydrology*, 1989, 15(4/5): 177-184.
- [4] 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 ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in North China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 1995, 1(2): 80-87.
- [5] 吕殿青, 同延安, 孙本华. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(1): 8-15. LV Dian-qing, TONG Yan-an, SUN Ben-hua. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 1998, 4(1): 8-15.
- [6] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. *土壤学报*, 2008, 45(2): 296-302. LIU Zhao-hui, JIANG Li-hua, ZHANG Wen-jun, et al. Evolution of fertilizer rate and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable cultivation in Shandong[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 296-302.
- [7] 邢光熹, 施书莲, 杜丽娟, 等. 苏州地区水体氮污染状况[J]. *土壤学报*, 2001, 38(4): 540-546. XING Guang-xi, SHI Shu-lian, DU Li-juan, et al. Situation of nitrogen pollution in water bodies in Suzhou region[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(4): 540-546.
- [8] 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 Fertilizer Science*, 2001, 7(4): 385-390.
- [9] 冷家峰, 崔丽英, 肖美丽. 济南市地下水硝酸盐污染研究[J]. *农村生态环境*, 1998, 14(1): 55-57. LENG Jia-feng, CUI Li-ying, XIAO Mei-li. Study on nitrate pollution in groundwater of Jinan City[J]. *Rural Eco-Environment*, 1998, 14(1): 55-57.
- [10] 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. ZHAO Xiu-chun, WANG Cheng-jian, MENG Chun-xia. Analysis on nitrate pollution in groundwater in Qingdao City and influence factor[J]. *Journal of China Hydrology*, 2008, 28(5): 94-96.
- [11] 赵同科, 张成军, 杜连凤. 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.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 133. LU Ru-kun. Soil agriculture chemistry analysis method [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 133.
- [13] 王小兰. 山东省寿光市蔬菜种植区化肥投入及地下水硝酸盐污染状况研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006: 19-20. WANG Xiao-lan. Chemical fertilizer application of vegetable planting areas and groundwater nitrate pollution conditions in Shouguang of Shandong[D]. Beijing: China Agricultural University, 2006: 19-20.
- [14] 刘兴权, 许晶玉, 江丽华. 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. LIU Xing-quan, XU Jing-yu, JIANG Li-hua. Spatial variability and distribution pattern of groundwater nitrate pollution in farming regions of Shandong Province[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(6): 1172-1179.