

兰州市农村饮用水中硝态氮分布特征及评价

陈银萍¹, 罗永清¹, 陶玲¹, 李玉强²

(1.兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070; 2.中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要 水体硝态氮污染是水污染研究的焦点之一。通过对兰州市7个县区农村98个生活饮用水水样的测定分析, 结合国家相关标准(GB 5749—2006), 对兰州市农村生活饮用水硝态氮含量进行评价, 并通过回归分析推断了不同水源类型水体硝酸根与电导率的相关性。结果显示: ①兰州农村生活饮用水水体硝态氮平均含量为 $(5.42 \pm 6.63) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 合格率为86.73%; ②皋兰县、西固区和安宁区农村生活饮用水硝态氮含量无超标现象, 榆中县、七里河区、永登县、红古区农村生活饮用水硝态氮含量较高, 有不同程度超标现象, 合格率分别为77.27%、77.78%、80.00%和83.33%; ③不同水源类型水体硝态氮含量存在显著差异: 自来水、河水 and 水库水合格率均为100%, 窖水、深井水(>30 m)和泉水硝态氮含量较高, 合格率分别为92.00%、91.66%和55.56%, 浅井水(<30 m)硝态氮平均含量最高, 为 $(22.27 \pm 10.54) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 合格率仅为25.00%; ④除水库水和浅井水, 其他类型水体硝酸根与电导率呈显著或极显著的正相关性; ⑤浅井水中水体硝态氮含量与pH呈显著负相关; ⑥浅井水和泉水水体硝态氮含量与农田氮投入量存在显著正相关性。

关键词 农村生活饮用水; 硝态氮; 分布特征; 回归分析

中图分类号: X832 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2011)01-0183-07

Investigation on Nitrate Nitrogen Distribution Characteristics of Drinking Water in Lanzhou Rural Area, China

CHEN Yin-ping¹, LUO Yong-qing¹, TAO Ling¹, LI Yu-qiang²

(1.School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2.Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract The pollutant of nitrate-N(NO_3^- -N) plays an important role in water pollution nowadays. Analyzing the data of NO_3^- -N contents of rural drinking water from 98 plots around Lanzhou, we evaluated the water quality in comparison with the National Standard(GB 5749—2006), and investigated the correlation between NO_3^- content and the EC. The results showed: ①The mean NO_3^- -N content of drinking water was $(5.42 \pm 6.63) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and the Rate of Qualification(RQ) was 86.73% in Lanzhou rural area. ②The NO_3^- -N contents were not beyond the limit of the National Standard in Gaolan County, Xigu and Anning District; whereas overproof samples were observed in Yuzhong County, Qilihe, Yongdeng and Honggu District, in which the RQ was 77.27%, 77.78%, 80.00% and 83.33% respectively. ③Significant differences of NO_3^- -N contents were detected on different types of water. The RQ was 100% in tap water, river water, and pool water, whereas the RQ was 92.00%, 91.66%, and 55.56% in cellar water, deep well(more than 30 m) water, and spring water, respectively. The highest content of NO_3^- -N was detected in shallow well, which was $(22.27 \pm 10.54) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and the RQ was 25.00%. ④There was significantly positive correlation between EC value and NO_3^- -N content except for the pool and shallow well waters. ⑤The significantly negative correlation was detected between pH value and NO_3^- -N content in shallow well water. ⑥The nitrogen input in farmlands was significantly positively correlated with NO_3^- -N content in shallow well and spring waters.

Keywords rural drinking water; nitrate-N; distribution characteristic; regression analysis

水对人类的生存和发展具有重要意义, 近年来, 随着社会的发展, 水质安全问题越来越受到人们的

关注, 农业措施导致水体氮污染已成为严重的环境问题^[1]。许多研究表明, 硝酸盐被认为是进入水体最频繁的物质^[1], 硝酸盐和亚硝酸盐污染可导致一些癌症发病率的增加^[2-3]。虽然硝酸盐本身对人体没有明显毒害, 但进入人体内经硝酸还原菌可还原为亚硝酸盐, 形成强致癌物质, 导致胃癌等消化系统癌症^[4-5]。此外, 也有研究表明, 长期饮用亚硝态氮含量高的水体, 可

收稿日期: 2010-07-07

基金项目: 国家自然科学基金(31060060, 40901049); 兰州交通大学“青蓝”人才工程基金(QL-08-14A); 兰州市科技计划资助项目(2008-1-175; 2009-2-20)

作者简介: 陈银萍(1974—), 女, 甘肃榆中人, 博士, 副教授, 主要从事环境生态学研究。E-mail: yinpch@yahoo.com.cn

致人出现亚铁血红蛋白症^[6]。大量的氮肥施用和大水漫灌的共同作用导致氮的淋溶^[7],化肥(氮肥)的高强度使用和较低的利用率是导致水体硝态氮污染的主要原因^[8]。硝态氮进入土壤后通过淋溶作用进入水体,并通过扩散和转移作用进行空间移动^[9]形成污染。有研究表明,一些地区的农村和小城镇由于农田大量施用氮肥而引起的地下水硝酸盐污染问题已经十分严重^[10]。进入水体的硝态氮在不同形式的水源中呈现不同的特征,即各类水体间存在显著差异^[11]。

本研究通过对兰州市郊农村 98 个饮用水水体样本硝态氮含量的测定,分析了兰州市各个县区及不同类型水体硝态氮污染特征,旨在为农村水资源的科学合理利用及硝态氮污染治理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

兰州位于中国陆域版图的几何中心,辖城关、七里河、西固、安宁、红古 5 区和永登、榆中、皋兰 3 县,全市总面积 13 085.6 km²,处在东经 102°30'~104°30'、北纬 35°5'~38°之间,平均海拔 1 670 m。该地区年降水量 290~360 mm,蒸发量 1 400 mm,年平均气温 6.5℃,无霜期平均 140 d,为北温带半干旱大陆性

半季风气候。

1.2 样品采集与处理

本文研究对象为榆中县、皋兰县、永登县、七里河区、红古区、西固区及安宁区 7 个县区的农村生活饮用水,结合各县区农村人口数量、密度及农村发展状况设置采样点,共计采集水样 98 个(采样点分布见图 1)。水源类型包括自来水(农村自建设施供水)、水窖水、河水、泉水、水库水、深井水及浅井水(以井深 30 m 为界),各种类型水样分别占总样本数的 11.23%、20.41%、11.22%、16.33%、6.12%、22.45% 和 12.24%,基本涵盖了兰州市农村生活饮用水类型。采样同时对水源用途、氮肥施用水平及附近有无工厂、养殖场等相关资料进行调查记录。样品采集后放入装有冰块的保温箱中带回,当天化验。分析前对略带混浊的水样进行过滤。采用紫外分光光度法测定水样中硝态氮含量^[12],电位法测定 pH 值,电导法测定电导率。

数据采用 Microsoft Excel 和 SPSS12.0 软件进行统计分析。采用单因素方差分析(ANOVA)对不同区域之间的差异性进行显著性分析,用最小显著性差异(LSD)多重比较方法,在 95%的可靠性下对差异性进行比较分析,并采用回归分析法对水体硝态氮与 pH、电导率的相关性进行分析。

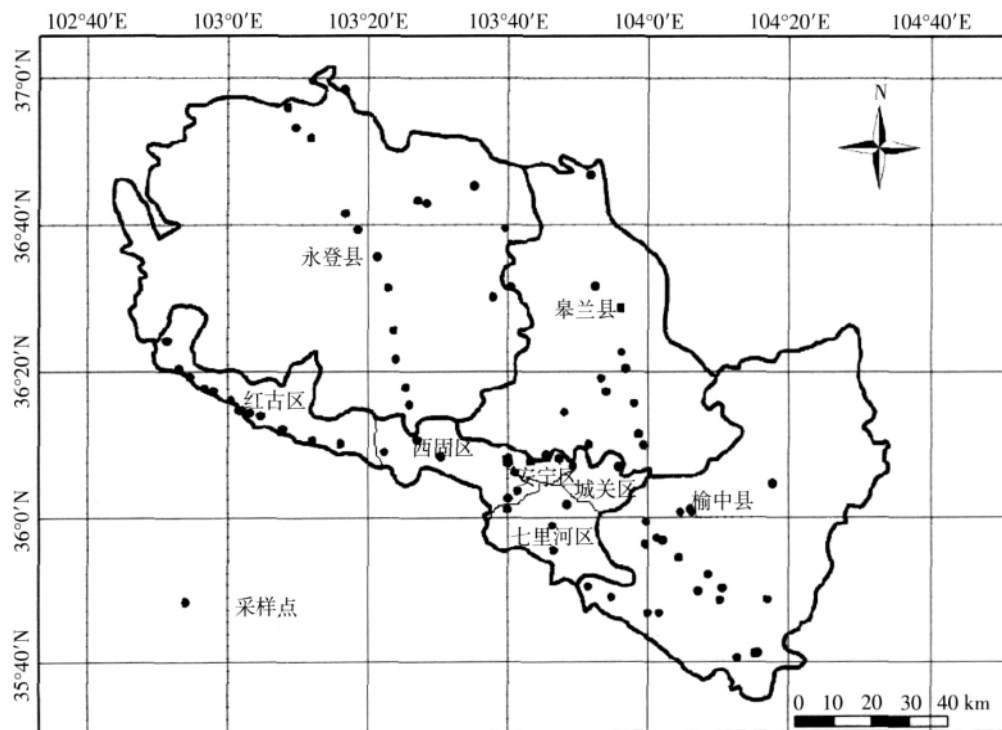


图 1 兰州农村生活用水采样点分布

Figure 1 Plots of rural drinking water sampling in Lanzhou

2 结果与分析

2.1 兰州市农村饮用水中硝态氮、pH 值及电导率

2.1.1 硝态氮含量分布特征

兰州市农村饮用水水体硝态氮平均含量为 $(5.42 \pm 6.63) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。其中榆中县、永登县、红古区和七里河区含量偏高,均大于全市平均值;皋兰县最低,仅为 $(1.07 \pm 0.44) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;其次为西固区和安宁区,分别为 $(1.79 \pm 0.17) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $(3.83 \pm 1.45) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。各县区农村生活用水硝态氮含量顺序依次为榆中县>七里河区>永登县>红古区>安宁区>西固区>皋兰县。以国家标准(GB 5749—2006)进行评价,结果显示,兰州市农村生活用水水体硝态氮合格率为 86.73%,皋兰县、西固区、安宁区各样点均无超标现象,合格率均为 100%;榆中县最低,为 77.27%;七里河区、永登县和红古区也出现不同程度超标现象,合格率分别为 77.78%、80.00%和 83.33%。

从不同县区来看,水体硝态氮平均含量存在显著差异性($F=3.05$ $P<0.001$)。此外,研究区不同类型水体硝态氮平均含量存在极显著的差异性(表 1),其大小顺序依次为:浅井水>深井水>泉水>自来水>河水>窖水>水库水。以国家标准(GB 5749—2006)进行评价,结果显示,浅井水合格率最低,仅为 25.00%,其次为泉水,合格率为 55.56%,深井水和水窖水中有少量超标现象,合格率分别为 91.66%和 92.00%,水库水和自来水硝态氮含量均低于标准限额。

在各个县区的不同类型水体中,硝态氮含量具有不同的特征(表 1)。榆中县水体硝态氮含量大小顺序为浅井水>深井水>泉水>河水>自来水>窖水,永登县

不同类型水体硝态氮含量为浅井水>自来水>泉水>深井水>河水>窖水,红古区的 3 种类型水体间存在显著差异性,表现为泉水>深井水>河水,七里河区不同水体硝态氮含量存在极显著差异性($P<0.001$),自来水显著低于河水和窖水,西固区 3 类水体硝态氮含量不存在显著差异性,皋兰县的两类水体中,水库水的硝态氮含量显著高于窖水,安宁区所有样点均为自来水,其含量低于全市自来水平均含量,但存在较大的变异,变异系数达 1.39。

水体硝态氮含量除因水源类型不同而存在差异以外,不同地区的自然条件等因素也可能对其造成影响,本研究对相同类型水体在不同县区间间的差异性做了比较。结果表明,研究区相同类型水体在不同县区的硝态氮含量差异性有所不同(表 1):水库水和深、浅井水在不同县区均不存在显著差异性($P>0.05$);泉水在不同县区存在显著差异性($P<0.05$),其硝态氮含量为红古区>永登县>榆中县;河水在 0.01 水平上具有差异性,硝态氮含量为七里河区>永登县>红古区>榆中县;县区间间的自来水在 0.001 水平上具有差异性,表现为永登县>安宁区>西固区>榆中县>七里河区,窖水($F=109.96$ $P<0.001$)的硝态氮含量为七里河区>永登县>西固区>榆中县>皋兰县。

2.1.2 不同类型水体电导率与 pH 值分布特征

由表 2 可知,不同类型水体的电导率和 pH 存在显著差异。研究区水体平均电导率为 $(870 \pm 670) \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$,最大值和最小值分别为 $2860 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 和 $190 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$,不同类型水体电导率依次为窖水<自来水<河水<水库水<泉水<深井水<浅井水,且各类水体间存在极显著差异($F=7.509$ $P<0.001$)。研究区水体 pH

表 1 兰州农村饮用水硝态氮含量($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 1 Nitrate-N content of rural drinking water in Lanzhou($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

县区	窖水	深井水	浅井水	泉水	河水	水库水	自来水	F 值
榆中	$1.32 \pm 0.54^{\text{bcd}}$	$6.11 \pm 2.44^{\text{ba}}$	$26.74 \pm 10.45^{\text{a}}$	$3.13 \pm 1.60^{\text{bb}}$	$2.03 \pm 1.69^{\text{bb}}$	—	$1.62 \pm 0.14^{\text{bc}}$	14.72***
永登	$3.39 \pm 1.66^{\text{bb}}$	$5.01 \pm 2.06^{\text{ba}}$	$14.82 \pm 6.13^{\text{a}}$	$5.44 \pm 6.53^{\text{bb}}$	$3.83 \pm 3.76^{\text{bb}}$	—	$8.52 \pm 0.70^{\text{ab}}$	4.11*
红古	—	$8.68 \pm 1.10^{\text{ba}}$	—	$13.60 \pm 1.60^{\text{a}}$	$3.07 \pm 1.01^{\text{cb}}$	—	—	103.15***
七里河	$10.55 \pm 0.55^{\text{a}}$	—	—	—	$8.13 \pm 1.04^{\text{ba}}$	—	$1.43 \pm 0.53^{\text{c}}$	120.72***
西固	$1.92 \pm 0.09^{\text{cd}}$	—	—	—	—	$1.80 \pm 0.05^{\text{a}}$	$1.68 \pm 0.22^{\text{cd}}$	2.07
皋兰	$0.91 \pm 0.31^{\text{bd}}$	—	—	—	—	$1.72 \pm 0.11^{\text{a}}$	—	18.72***
安宁	—	—	—	—	—	—	$2.78 \pm 3.87^{\text{b}}$	—
总体	$2.63 \pm 3.18^{\text{c}}$	$6.39 \pm 2.39^{\text{b}}$	$22.27 \pm 10.54^{\text{a}}$	$7.13 \pm 5.60^{\text{b}}$	$3.87 \pm 2.60^{\text{bc}}$	$1.76 \pm 0.09^{\text{c}}$	$3.29 \pm 2.31^{\text{c}}$	26.57***
F 值	109.96***	2.75	3.12	10.56*	7.38**	1.32	17.32***	—

注:“—”表示该点无水样;多重比较中相同字母表示在 0.05 水平上不存在显著差异,上标字母中,大写字母表示相同类型水样在不同县区的差异性比较,小写字母表示相同县区不同类型水样的差异性比较; F 值上标中,*表示在 0.05 水平上存在显著差异性,**表示在 0.01 水平上存在显著差异性,***表示在 0.001 水平上存在显著差异性。

表 2 不同类型水体电导率及 pH 值

Table 2 EC and pH values in different types of water

项目	类型	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数
EC/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	自来水	560 ^{bc}	220	350	1020	0.38
	窖水	400 ^c	160	230	820	0.41
	浅井	1400 ^a	840	360	2870	0.60
	深井	1330 ^a	650	500	2600	0.49
	泉水	880 ^b	830	190	2860	0.94
	河水	580 ^{bc}	270	190	1010	0.47
	水库水	730 ^{bc}	390	460	1240	0.54
pH	自来水	7.90 ^{bc}	0.16	7.67	8.16	0.02
	窖水	8.35 ^a	0.59	7.91	9.98	0.07
	浅井	7.56 ^d	0.19	7.33	7.88	0.02
	深井	7.78 ^{cd}	0.33	7.39	8.39	0.04
	泉水	7.84 ^c	0.27	7.42	8.38	0.03
	河水	7.98 ^{bc}	0.33	7.52	8.37	0.04
	水库水	8.23 ^{ab}	0.24	7.99	8.52	0.03

注 相同字母表示不存在显著差异($P>0.05$)。

平均值为 7.94 ± 0.43 , 最大值和最小值分别为 9.98 和 7.33, 不同类型水体 pH 间也存在极显著的差异性($F=7.984$ $P<0.001$) pH 依次为浅井水<深井水<泉水<自来水<河水<水库水<窖水。

2.2 水体硝态氮与相关因子分析

2.2.1 水体硝态氮含量与电导率、pH 值相关性分析

研究区不同类型水体的硝态氮含量与电导率的相关性具有不同特征。除浅井水和水库水($P>0.05$)以外, 其余类型水体硝态氮含量与电导率均存在不同程度的显著正相关性(表 3), 其中自来水和窖水硝态氮含量与电导率在 0.001 水平上呈现显著正相关性, 泉水和河水硝态氮含量与电导率相关性显著水平为 0.01, 深井水为 0.05。说明硝酸根与电导率(离子总量)具有相似的分布特征, 硝酸根有可能是此类水体的主要离子。据此推断硝酸根在自来水、窖水、泉水、河水和深井水水体总阴离子中占有较大的比重。结合相关性分析(表 3)可知, 水体硝酸根占其总阴离子的比率依次为自来水>窖水>河水>泉水>深井水。浅井水和水库水硝态氮含量与电导率无显著相关性($P>0.05$), 说明在浅井水和水库水体中, 硝酸根所占比率很小, 即其他种类的阴离子占有较大的比重。

通过对水体硝态氮含量与 pH 之间的回归分析(表 3), 发现自来水硝态氮含量与 pH 值存在负相关性($P<0.05$), 其他类型水体硝态氮与 pH 值均无显著相关性。表明在自来水中, 在一定范围内随 pH 值增加, 水体硝态氮含量减少。

表 3 水体硝态氮与电导率、pH 值相关性分析

Table 3 Correlation between EC, pH values and nitrate-N content

项目	水源类型	回归方程	R	F	P
EC	自来水	$y=-3.824+0.012x$	0.985 ^{***}	284.011	0.000
	窖水	$y=-4.032+0.016x$	0.858 ^{***}	50.226	0.000
	浅井	$y=7.491+0.486\times 10^{-5}x$	0.217	0.493	0.499
	深井	$y=3.080+0.004x$	0.524 [*]	7.577	0.012
	泉水	$y=2.325+0.004x$	0.626 ^{**}	9.013	0.010
	河水	$y=-0.248+0.008x$	0.777 ^{**}	13.728	0.005
	水库水	$y=0.476+0.001x$	0.490	1.261	0.324
pH	自来水	$y=86.117-10.590x$	0.613 [*]	5.425	0.045
	窖水	$y=10.235-0.974x$	0.194	0.704	0.412
	浅井	$y=55.329-4.170x$	0.068	0.047	0.833
	深井	$y=25.001-2.809x$	0.143	0.420	0.524
	泉水	$y=27.481-2.809x$	0.158	0.359	0.559
	河水	$y=3.492+0.103x$	0.012	0.001	0.972
	水库水	$y=-20.870+2.687x$	0.788	6.555	0.063

注 * 表示在 0.05 水平显著相关, ** 表示在 0.01 水平显著相关; *** 表示在 0.001 水平显著相关。

2.2.2 农田氮投入量对水体硝态氮含量的影响

有研究表明, 农田氮投入的增加可提高农业系统水体硝态氮含量^[19]。所以, 本研究中对水样采集点周围的农田化肥使用情况做了调查统计, 根据不同化肥类型、单位面积施用量及施用频率, 计算出单位面积农田年氮投入量, 并与相应水体硝态氮含量进行回归分析。

分析表明(图 2), 不同类型水体硝态氮与当地农田氮投入量呈不同程度的正相关性。浅井水水体硝态氮含量与农田氮投入量在 0.01 水平上呈显著的正相关性(图 2a), 说明农田氮肥施用量的增加可显著增加浅井水水体硝态氮含量; 对于深井水(图 2b), 氮投入量与水体硝态氮含量的相关性不显著($R=0.251$ $P>0.05$), 说明当前农田氮投入量不足以显著影响水体硝态氮含量。同样(图 2d), 农田氮肥投入对河水水体硝态氮含量没有显著影响($R=0.411$ $P>0.05$)。泉水(图 2c)水体硝态氮含量与当地农田氮投入量在 0.05 水平上呈显著的正相关性, 说明农田氮肥施用量的增加可增加泉水水体硝态氮含量。

3 讨论

从本研究可以看出, 浅层地下水含有更高的硝态氮(浅井水和泉水硝态氮合格率分别为 25.00% 和 55.56%), 这高于刘宏斌等^[13-14]对北京农区浅层地下水硝态氮污染调查结果(超标率为 80.50%)。深井水

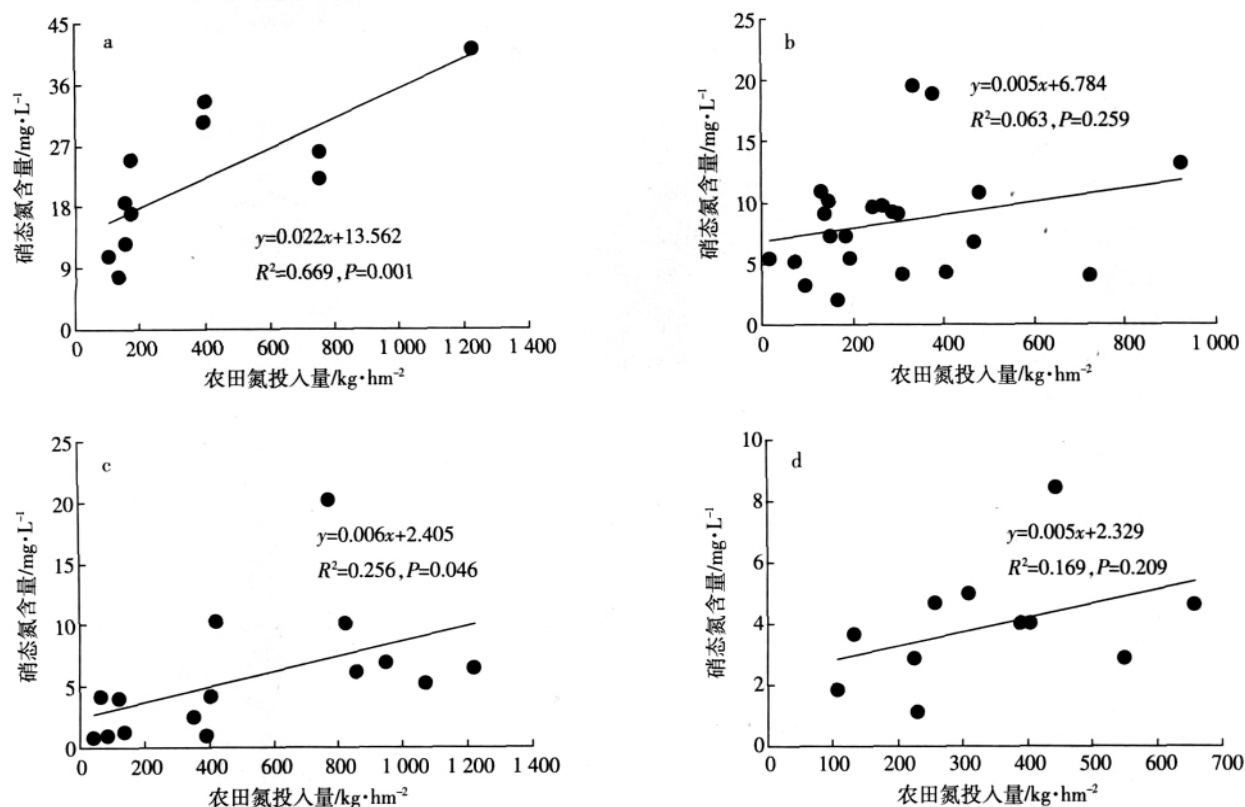


图2 浅井水(a)、深井水(b)、泉水(c)、河水(d)硝态氮与农田氮投入量的相关性

Figure 2 Correlation between nitrogenous fertilizer input in farmlands and $\text{NO}_3\text{-N}$ content in shallow well(a), deep well(b), spring(c), and river(d) waters

硝态氮也相对较高。总体来看,井水中硝态氮含量高于其他类型的水体。本研究发现,兰州农村井水(深井水和浅井水)硝态氮超标率为35.00%,与北京地区相同,而高于苏州吴县^[15]和陕西绥德榆林等地区^[16]。影响水体硝态氮浓度的主要因素有氮投入量、土壤质地及作物类型等^[17]。此外,降水、灌溉等措施形成的水分流动是硝态氮进入水体的动力^[18]。在农业生态系统中,氮肥施用量与水体硝态氮的正相关性已经被许多研究证实^[19]。有报告预计到2020年全球氮消耗量可达 $114 \times 10^6 \text{ t}$ ^[20]。本研究区域种植作物主要有蔬菜和粮食两大类,调查发现,蔬菜种植区的高氮投入现象十分明显,年总氮投入量在 $300 \sim 1\,200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,而蔬菜种植期短、根系不发达^[21]及较大的需水量^[18]均可导致硝态氮从土壤向水体的转移,所以,日益增加的蔬菜种植面积、种植强度及不合理的施肥灌溉等农业措施是导致兰州农村生态系统水体硝态氮含量增加的主要因素。在粮食作物种植中,一方面由于人口数量的增加及饮食习惯的改变,对产量的追求导致氮投入的增加,另一方面,兰州地区传统的单茬种植模式导致农田休耕时间较长,促进了农田土壤氮素的积累。

此外,兰州地区的降水分布不均匀,每年8—9月的高强度降水^[18]与农业管理的高强度追肥的耦合作用,也可导致农业生态系统水体硝态氮的增加。

本研究发现,泉水和浅井水水体硝态氮含量与农田氮投入量呈显著正相关,而深井水水体硝态氮含量则与农田氮投入量无显著相关性。有研究指出,降雨量与硝态氮淋溶深度和淋失量均呈正相关^[22]。王兴武等^[23]通过田间小区试验发现,集中、大量的降雨或过量的灌溉对硝态氮垂直运移具有明显的推动作用,高水处理的土壤溶液硝态氮浓度最高值出现的深度,要比低水处理深约40 cm,达到100 cm。据此推断,作为内陆半干旱气候区的兰州,较少的降雨量及偏大的蒸发量削弱了硝态氮向土壤更深层次的移动,导致硝态氮主要积累在土壤浅层,所以,硝态氮的垂直移动终点多停留在浅层地下水。对于河流水体硝态氮分布特征,有的研究认为河流附近的土地面积和土地利用方式直接影响河流水质^[24-26],也有的认为源头氮素水平关系到整个流域水体的水质^[27]。而在本研究中,河流周围农田氮投入量与河流水体硝态氮含量无显著正相关性,说明在兰州地区,河流水体硝态氮更多地

受源头环境状况影响。

4 结论

(1) 兰州市农村生活饮用水总体硝态氮含量为 $(5.42 \pm 6.63) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 合格率为 86.73%。从空间分布来看, 水体硝态氮含量高低次序依次为榆中县>七里河区>永登县>红古区>安宁区>西固区>皋兰县。从水源类型来看, 不同类型水体硝态氮含量存在极显著差异性 ($F=13.043$ $P<0.001$), 硝态氮含量高低次序依次为浅井水>深井水>泉水>自来水>河水>窖水>水库水。

(2) 不同类型水体中, 硝态氮含量与电导率存在一定程度的正相关性。自来水和窖水水体硝态氮与电导率在 0.001 水平上呈显著的正相关性, 泉水和河水水体硝态氮与电导率在 0.01 水平上呈显著正相关性; 深井水水体硝态氮与电导率在 0.05 水平上呈显著正相关性, 水库水与浅井水水体硝态氮与电导率不存在显著相关性。

(3) 在浅井水水体中, 硝态氮与 pH 存在显著负相关性, 即浅井水水体中硝态氮含量随 pH 值上升而减少。

(4) 不同类型水体硝态氮含量与当地农田氮投入量存在不同的正相关性, 浅井水和泉水水体硝态氮含量与农田氮投入量分别在 0.01 和 0.05 水平上呈显著正相关性, 深井水和河流水体硝态氮与农田氮投入量则不存在显著正相关性。

参考文献:

- [1] Spalding R F, Exner M E. Occurrence of nitrate in round water: A review [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22 :392-4021.
- [2] 邓 熙, 林秋奇, 顾继光. 广州市饮用水源中硝酸盐亚硝酸盐含量与癌症死亡率联系[J]. *生态科学*, 2004, 23(1) :38-41.
DENG Xi, LIN Qiu-qi, GU Ji-guang. Correlation between concentration of nitrate, nitrite in drinking water source and cancer mortality for Guangzhou City[J]. *Ecologic Science*, 2004, 23(1) :38-41.
- [3] 张秀兰, 张祥宏, 王凤荣, 等. 赞皇县胃癌与饮水关系的研究概况[J]. *中国肿瘤*, 2002, 11(7) :386-388.
ZHANG Xiu-lan, ZHANG Xiang-hong, WANG Feng-rong, et al. Brief view on the studies of relationship between drinking water and gastric cancer in Zanhuang County[J]. *China Cancer*, 2002, 11(7) :386-388.
- [4] 叶本法, 徐耀初, 周敬澄, 等. 食管癌现场可疑病因和致病因素的预防研究[J]. *南京医科大学学报*, 1996, 16(3) :228-232.
YE Ben-fa, XU Yao-chu, ZHOU Jing-cheng, et al. Preventive study of the agents of esophageal cancer in Huai'an[J]. *Acta Academiae Medicinae Nanjing*, 1996, 16(3) :228-232.
- [5] 徐海蓉, 徐耀初. 饮食因素与胃癌关系的流行病学研究近况[J]. *中国肿瘤*, 2002, 11(2) :81-83.
XUE Hai-rong, XU Yao-chu. The epidemiologic study on the relation-ship between dietary factors and gastric cancer[J]. *China Cancer*, 2002, 11(2) :81-83.
- [6] 付伟章. 氮肥施用对农田氮素径流输出的影响及其机理[J]. *环境科学学报*, 2005, 12 :1677-1681.
FU Wei-zhang. Effects and mechanism on nitrogen output in farmland with nitrogen fertilization[J]. *Environmental Science Journal*, 2005, 12 :1677-1681.
- [7] Agrawal G D, Lunkad S K, Malkhed T. Diffuse agricultural nitrate pollution of ground waters in India[J]. *Water Science Technology*, 1999, 29 (3) :67-75.
- [8] Strebel O, Duynisveld W H M, Bottcher J. Nitrate pollution of groundwater in Western Europe[J]. *Agric Ecosyst Environ*, 1989, 26 :189-214.
- [9] Liu G D, Wu W L, Zhang J. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in Northern China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005 (107) :211-220.
- [10] 张维理, 田哲旭. 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. Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in North China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1995, 1(2) :80-87.
- [11] 李明悦, 朱静华, 廉晓娟, 等. 天津市水体硝酸盐污染现状与分析 [J]. *天津农业科学*, 2008, 14(1) :43-46.
LI Ming-yue, ZHU Jing-hua, LIAN Xiao-juan, et al. Investigation and evaluation on nitrate contamination in water of Tianjin[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2008, 14(1) :43-46.
- [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 agrochemical analysis method [M]. Beijing :Chinese Agricultural Technology Press, 2000 :133.
- [13] 刘宏斌, 张云贵, 李志宏, 等. 北京市平原农区深层地下水硝态氮污染情况研究[J]. *土壤学报*, 2005, 42(3) :411-418.
LIU Hong-bin, ZHANG Yun-gui, LI Zhi-hong, et al. Nitrate contamination of deep groundwater in rural plain areas of Beijing[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3) :411-418.
- [14] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 等. 北京平原地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究[J]. *土壤学报*, 2006, 43(3) :405-413.
LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Yun-gui, et al. Nitrate contamination of groundwater and its affecting factors in rural areas of Beijing plain[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(3) :405-413.
- [15] 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.
- [16] 吕殿青, 同延安, 孙本华, 等. 氮肥使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, et al. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(1) :8-15.

- [17] 李正兆, 高海鹰, 张 奇, 等. 抚仙湖流域典型农田区地下水硝态氮污染及其影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1) : 286-290.
LI Zheng-zhao, GAO Hai-ying, ZHANG Qi, et al. Nitrate pollution of groundwater and the affecting factors in typical farmlands of Fuxianhu Lake catchment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(1) : 286-290.
- [18] 董维红, 林学钰. 浅层地下水氮污染的影响因素分析 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(2) : 231-235.
DONG Wei-hong, LIN Xue-yu. Analysis on the influence factors of the nitrogen pollution in shallow groundwater[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2004, 34(2) : 231-235.
- [19] 张树兰, 同延安, 梁东丽, 等. 氮肥用量及施用时间对土体中硝态氮移动的影响[J]. 土壤学报, 2004, 41(2) : 270-277.
ZHANG Shu-lan, TONG Yan-an, LIANG Dong-li, et al. Nitrate-N movement in the soil profile as influenced by rate and timing of nitrogen application[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2) : 270-277.
- [20] 刘晓晨, 孙占祥. 地下水硝态氮污染现状及研究进展 [J]. 辽宁农业科学, 2008(5) : 41-45.
LIU Xiao-chen, SUN Zhan-xiang. Present situation and research progression on nitrate contamination of groundwater[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2008(5) : 41-45.
- [21] 王 辉, 王全九, 邵明安. 降水条件下黄土坡地氮素淋溶特征的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5) : 61-64.
WANG Hui, WANG Quan-jiu, SHAO Ming-an. Characteristics of nitrogen leaching from sloping land on loess plateau under rainfall conditions[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(5) : 61-64.
- [22] Felix H, Volker P, Ernst S, et al. Environmental cross-compliance mitigates nitrogen and phosphorus pollution from Swiss agriculture[J]. *Environmental Science and Policy*, 2008 : 655-668.
- [23] 王兴武, 于 强, 张国梁. 鲁西北平原夏玉米产量与土壤硝态氮流失[J]. 地理研究, 2005, 24(1) : 140-150.
WANG Xing-wu, YU Qiang, ZHANG Guo-liang. The yield and dynamics of soil nitrate for summer maize on the plain of northwest Shandong Province[J]. *Geographical Research*, 2005, 24(1) : 140-150.
- [24] Johnson L B, Richards C, Host G E, et al. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems[J]. *Freshwater Biology*, 1997, 37 : 193-208.
- [25] Osborn L L, Wiley M J. Empirical relationships between land use P cover and stream water quality in an agricultural water shed[J]. *Journal of Environmental Management*, 1988, 26 : 9-27.
- [26] Hunsaker C T, Levine D A. Hierarchical approaches to the analysis of aquatic ecosystems[J]. *Freshwater Biology*, 1995, 37 : 113-132.
- [27] Peterson B J, Wollheim W M, Mulholland P J, et al. Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams[J]. *Science*, 2001, 292 : 86-90.