

长江天鹅洲浅层地下水氮磷特征

叶浩^{1,2,3}, 蒋舜尧³, 熊勤学³, 黄必善¹, 朱建强^{3*}

¹天门市农田灌溉排水试验站, 湖北 天门

²天门市水利和湖泊局, 湖北 天门

³长江大学农学院, 湖北 荆州

收稿日期: 2021年8月12日; 录用日期: 2021年10月8日; 发布日期: 2021年10月14日

摘要

为了解生产生活对洲滩垸落浅层地下水的影响, 探索湿地农区水资源保护的技术途径, 分别于2014年4月和2015年4月在长江天鹅洲的居民点和农田采集浅层地下水水样, 检测了其中氮磷含量, 结果表明: 居民区和农田的地下水污染均较严重, 且农田有恶化趋势; 研究区域氮素污染以铵态氮(1.15~5.54 mg·L⁻¹)为主, 且与总氮具有较高相关性(1%); 地下水中总磷含量低(0.019~0.028 mg·L⁻¹), 不会造成污染。根据研究结果, 在现行农业生产中要减施化学氮肥, 推行节氮栽培势在必行。

关键词

浅层地下水, 氮磷含量, 天鹅洲岛

The Characteristic of Nitrogen and Phosphorus in Shallow Groundwater in the Swan Islet of Yangtze River

Hao Ye^{1,2,3}, Shunyao Jiang³, Qinxue Xiong³, Bishan Huang¹, Jianqiang Zhu^{3*}

¹Tianmen Experiment Station of Farmland Irrigation and Drainage, Tianmen Hubei

²Tianmen Bureau of Water Resources and Lakes, Tianmen Hubei

³Agricultural College of Yangtze University, Jingzhou Hubei

Received: Aug. 12th, 2021; accepted: Oct. 8th, 2021; published: Oct. 14th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 叶浩, 蒋舜尧, 熊勤学, 黄必善, 朱建强. 长江天鹅洲浅层地下水氮磷特征[J]. 农业科学, 2021, 11(10): 891-897. DOI: 10.12677/hjas.2021.1110118

Abstract

In order to understand an impact of agricultural production and rural life on groundwater quality, and to explore technological way for water resources protection in rural area with wetlands, shallow groundwater samples were taken separately from farmland and residential zones in Swan Islet of Yangtze River in April 2014 and April 2015, the nitrogen and phosphorus contented in them were detected, the analysis results showed that: groundwater pollution is severe both residential area and farmland, moreover groundwater from farmland has a deteriorated tendency; in the study area, ammonium nitrogen ($1.15\sim 5.54\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) is dominant in nitrogen pollution, and which has a significant correlation with total nitrogen at confidence level of 1%, conversely, phosphorus content in the groundwater is very low (only $0.019\sim 0.028\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), and that do not contaminate groundwater. Based upon research results, chemical nitrogen fertilizer should be reduced in current agriculture production, and nitrogen-saving cultivation is imperative.

Keywords

Shallow Groundwater, Nitrogen and Phosphorous Content, Swan Islet

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

氮素常以硝态氮、亚硝态氮、氨态氮的形式存于土壤中，作物吸收利用只有 30%~50%左右，这些盐类物质一部分会产生氮气，氧化亚氮、氨气等温室气体，另一部分会淋溶到地下水中，地下水进入地表水进而造成水体富营养化，营养化的程度与田间施肥量呈线性相关[1]。饮水或食物中，含过量的硝酸盐、亚硝酸盐等污染物[2]，可能造成癌症或呼吸器官等疾病，含过量的硝酸盐，会引起体内血红蛋白氧化，造成急性中毒；亚硝酸盐在肠道内与气类结合，容易形成致癌物质，导致胃癌[3]。化肥使用不仅关乎化肥使用效率，而且对农村饮水安全有很大影响。磷肥在土壤中主要形态分为无机磷和有机磷，其中无机磷 50%~90%以正磷酸盐形态存在，有机磷主要来自动植物、微生物和有机肥。作物对磷肥的利用率很低，通常情况下，当季作物只有 5%~15%，加上后效一般也不超过 25%，因此约有 75%~90%的磷滞留在土壤中。长期过量施用磷肥，使得农田耕层土壤处于富磷状态[4]，富磷土壤在降雨丰年容易淋溶到地下水，磷肥施用过多的地方常常会伴随有毒有害成分重金属锡(Cd)、放射性元素和三氯乙醛对土壤生态环境造成危害[5]，严重制约农产品的安全生产。张海鹏研究表明我国大部分城市化肥投入仍然还有很大上升空间[6]，马国霞预测我国化肥流失率还会在 45%~55%之间[7]，因此，由化肥施用产生的地下水氮磷污染防治迫在眉睫。

研究区域天鹅洲是由长江冲积与河流自然裁弯取直形成的农村生产生活单元，周边水域和故道滩地是江豚和麋鹿保护区所在地，土质为河流冲积堆积母质上形成的粉沙壤土，透水性强、径流系数小。岛上有近 2000 hm^2 农田，且有 20 多年大量种植棉花历史，农民长期重施化肥，很少施甚至不施有机肥。本区春夏降水占年降水的 70%~80%，施入田间的化肥容易通过降雨入渗进入地下水系统。为探明天鹅洲农村生产生活对洲滩垸落浅层地下水的影响，探索湿地农区水资源保护的技术途径，我们于 2014 年 4 月和 2015 年 4 月先后在天鹅洲岛居民区和农田范围的水井中取了水样，根据检测分析结果分析了浅层地下

水的氮、磷特征，现报告如下。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

天鹅洲位于湖北省石首市长江北岸、江汉平原的南缘，东经 $112^{\circ}31'36''\sim 112^{\circ}36'90''$ ，北纬 $29^{\circ}46'71''\sim 29^{\circ}51'45''$ ，总面积 77.5 km^2 。据多年气象资料统计，天鹅洲年均气温 16.5°C ，无霜期长达 261 d，太阳年辐射总量为 443.8 kJ/cm^2 ，年降水量 1100~1300 mm。天鹅洲岛土壤是在河流冲积、堆积物上逐渐发育起来的。据石首市第二次土壤普查数据，规划区内土壤类型有三种：灰潮土、淹育水稻土和浅色草甸土，其中灰潮土占主要部分。在天鹅洲岛上，冬春季节农田地下水埋深一般在 1.5~2.0 m，局部在 1.0 m 内，最多埋深不超过 2.5 m。耕地土壤 pH 7.35~9.21，属于偏碱性土壤；有机质含量 $16.22 \pm 3.14\text{ g/kg}$ ，碱解氮 $75.94 \pm 12.21\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，二者总体上比较缺乏；速效磷含量 $11.68 \pm 6.10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，处于缺乏与中等之间；速效钾 $147.81 \pm 50.48\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，处于中等与丰富之间。



Figure 1. Groundwater sampling point

图 1. 地下水采样点

2.2. 取样及水化学分析方法

2014 年 4 月 25 日和 2015 年 4 月 27 日两次分别取自研究区域的 48 个地下水水样，取样点分布如图 1。取样过程用手持 GPS 仪记录取样点地理坐标，第 1 次取样涉及 27 个水井，其中居民区 13 个，农田内 14 个。第二次取样涉及 21 个水井，其中居民区 14 个，农田内 9 个。取样水井的深度在 2.2~6.1 m 之间，井径 3 cm 左右，水井上安装有取水设备且完全封闭，井筛子在水井底部 0.5~1 m 之间，在取样之前先将井中水抽干，静等 1~2 天后开始用蠕动泵在水井底部 0.5~1 m 左右抽取水样 500 ml。地下水样采取

后尽快运回低温保存,并在 48 h 内测定水样硝态氮、亚硝态氮、总氮、总磷。取样考虑到不同土地利用类型,分别是居民点、棉花~小麦/油菜种植田、一季棉田、大豆田和玉米田。

水样分析具体方法为:总氮(TN)碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894-89);铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)-纳氏试剂分光光度法测定(HJ 535-2009);硝态氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)-紫外分光光度法测定(HJ/T 346-2007);亚硝氮($\text{NO}_2^-\text{-N}$)-用分光光度法测定(GB 7493-87);总磷(TP)-钼酸铵分光光度法(GB 11893-89)。

2.3. 数据处理及地下水评价方法

数据处理采用 SPSS 19.0、Excel 2010 处理。如表 1 所示,氨氮、硝酸盐及亚硝酸盐参照地下水标准,总氮和总磷参照地表水环境质量标准($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (GB 3838-2002),评价方法按照地下水环境质量标准(GB/T 14848-93)中的 F 综合指数法评价。其中 F 级别分别是小于 0.80 为优良、0.80~2.50 为良好,2.50~4.25 为较好,4.25~7.20 为较差,>7.20 为极差。总氮和总磷不参与评分,仅用于下列分析使用。

Table 1. Quality standard for ground water (GB/T 14848-93) and environmental quality standards for surface water (GB 3838-2002) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

表 1. 地下水环境质量标准(GB/T 14848-93)和地表水质量标准(GB 3838-2002) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

评价指标	I	II	III	IV	V
氨氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.2	≤ 0.5	> 0.5
硝酸盐($\text{NO}_3^-\text{-N}$)	≤ 2	≤ 5	≤ 20	≤ 30	> 30
亚硝酸盐($\text{NO}_2^-\text{-N}$)	≤ 0.001	≤ 0.01	≤ 0.02	≤ 0.1	> 0.1
总磷(TP) \leq	≤ 0.02	≤ 0.1	≤ 0.2	≤ 0.3	> 0.4
总氮(TN) \leq	≤ 0.2	≤ 0.5	≤ 1	≤ 1.5	> 2

$$F = \sqrt{\frac{F_{\max}^2 + \bar{F}^2}{2}} \quad (1)$$

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \quad (2)$$

式中, \bar{F} 为个单项组分评分的平均值, F_{\max} 为各单项组分评分的最大值, n 为项数。

3. 结果与分析

3.1. 不同土地利用方式下氮磷特征

如表 2 所示,14 年农田和居民区地下水综合指数评价结果是极差;从单项指标上来看,两种土地利用方式下各项评价指标值并无显著差异,但是地下水氨氮严重超标属于劣 V 类水,硝态氮和亚硝态氮处于 I 类水状态。总氮、总磷未入选地下水评价指标,但是天鹅洲岛外被天鹅湖包围,地下水与地表水处于连通状态,因此从地表水标准角度评价,总氮处于 III 类水,总磷属于 I 类水。

Table 2. The characteristic of nitrogen and phosphorus under different land use in 2014

表 2. 2014 年不同土地利用方式下 N、P 特征

2014	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TN ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	\bar{F}
农田	$1.22 \pm 0.26\text{A}$	$0.55 \pm 0.31\text{A}$	$0.002 \pm 0.001\text{A}$	$1.80 \pm 0.44\text{A}$	$0.023 \pm 0.008\text{A}$	8.00
居民区	$1.15 \pm 0.43\text{A}$	$0.69 \pm 0.24\text{A}$	$0.002 \pm 0.001\text{A}$	$1.85 \pm 0.35\text{A}$	$0.022 \pm 0.006\text{A}$	8.00

A 为 5% 水平显著, a 为 1% 水平显著, 以下均同。

如表 3 所示, 15 年农田和居民区地下水综合评价指数极差; 从单项指标来看, 两种土地利用方式下仅硝酸盐和亚硝酸盐在 5% 水平有显著差异, 其铵态氮同样属于劣 V 类水, 硝酸盐属于 I 类水, 亚硝酸盐和总磷属于 IV 类水, 总氮劣 V 类水。

Table 3. The characteristic of nitrogen and phosphorus under different land use in 2015

表 3. 2015 年不同土地利用方式下 N、P 特征

2015	NH ₄ ⁺ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	TN (mg·L ⁻¹)	TP (mg·L ⁻¹)	\bar{F}
农田	5.54 ± 1.45A	1.50 ± 0.14A	0.042 ± 0.016A	6.82 ± 1.59A	0.028 ± 0.003A	8.12
居民区	4.81 ± 1.92A	0.52 ± 0.12B	0.023 ± 0.006B	6.59 ± 1.40A	0.019 ± 0.009A	8.00

3.2. 相同土地利用方式下年际氮磷特征

如表 4 所示, 两年农田地下水综合评价指数都属于极差状态且有恶化趋势, 其总氮、氨氮、硝态氮在 1% 水平上有极显著差异, 其中 15 年地下水铵态氮含量是 14 年 4.5 倍, 硝态氮 3 倍, 亚硝态氮直接从 II 类水变为 IV 类水, 总氮 3.7 倍, 总磷没有变化。

Table 4. The variation of rural area under different year

表 4. 农田地下水年际变化

农田	NH ₄ ⁺ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	TN (mg·L ⁻¹)	TP (mg·L ⁻¹)	\bar{F}
2014	1.22 ± 0.26a	0.55 ± 0.31a	0.002 ± 0.001a	1.80 ± 0.44a	0.023 ± 0.008A	8.00
2015	5.54 ± 1.45b	1.50 ± 0.14b	0.042 ± 0.016b	6.82 ± 1.59b	0.028 ± 0.003A	8.12

如表 5 所示, 居民区地下水综合指数基本没有变化, 属于极差状态; 从单项指标来看, 两年的铵态氮和总氮含量在 1% 水平有极显著差异, 硝态氮、亚硝态氮和总磷没有显著变化。

Table 5. The variation of residential area under different year

表 5. 居民区地下水年际变化

居民区	NH ₄ ⁺ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ -N (mg·L ⁻¹)	TN (mg·L ⁻¹)	TP (mg·L ⁻¹)	\bar{F}
2014	1.15 ± 0.42a	0.69 ± 0.24A	0.022 ± 0.001A	1.85 ± 0.35a	0.023 ± 0.006A	8
2015	4.81 ± 1.92b	0.51 ± 0.31A	0.023 ± 0.006A	6.59 ± 1.40b	0.019 ± 0.009A	8

3.3. 不同土地利用方式下年际氮磷相关分析

如表 6 所示, 从整体来看农田和居民区铵态氮和总氮相关性在 1% 水平达到极显著, 其他指标在不同土地利用方式下相关性不尽相同。在农田铵态氮和硝态氮极显著相关, 土壤和水体在进行硝化作用过程中先转化为亚硝酸盐, 然后转化为硝态氮, 铵态氮只和硝酸盐相关性高, 由此看出在农田硝化作用比较彻底, 硝酸盐和总氮总磷相关性也较显著, 总氮和总磷相关性也极显著; 而在居民区铵态氮和亚硝酸盐在 1% 水平有极显著相关性, 说明铵态氮在转换过程中主要转换成亚硝态氮, 在居民区亚硝酸盐和总氮相关性较高, 其他指标相关性不显著。

Table 6. The correlation of nitrogen and phosphorus under different land use
表 6. 不同土地利用方式 N、P 相关性分析

	因子	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TN	TP
农田	NH ₄ ⁺ -N	0.578**	0.085	0.911**	0.255
	NO ₃ ⁻ -N		0.519**	0.860**	0.731**
	NO ₂ ⁻ -N			0.303	0.005
	TN				0.525**
居民区	NH ₄ ⁺ -N	-0.112	0.982**	0.999**	-0.2220
	NO ₃ ⁻ -N		-0.186	-0.088	0.307
	NO ₂ ⁻ -N			0.984**	-0.208
	TN				-0.197

**在 1% 水平极显著。

4. 讨论

1) 农田是生活生产区, 容易受到人类干扰致使总体上其地下水环境极差[8] [9]; 居民区人口数量和生活习惯较为稳定因此对地下水影响不会出现大的波动, 而人类对农田干扰比居民区大, 其经常会改变作物种植种类、施肥量及农作制度, 因此农田地下水恶化风险较大[10]。

2) 农田和居民区主要是铵态氮污染与焦军霞、金赞芳等人研究结论基本一致[11] [12], 其硝酸盐污染并不占主导地位与前人研究结果不一致[13], 这可能与农民所使用化肥种类、粉砂土壤和水体硝化作用进行程度等人类活动和自然因素有关[14] [15], 而总磷指标总体良好显示研究区域降雨及土壤磷素含量不足以造成磷素淋溶[4]。

3) 铵态氮硝化反应产物依次是亚硝酸盐、硝酸盐, 农田铵态氮和硝酸盐相关性较高表明农田硝化产物以硝酸盐为主, 而在居民区铵态氮和亚硝酸盐相关性较高, 则表明居民区硝化产物以亚硝酸盐为主。

4) 本研究基本了解研究区域氮磷污染现状, 对研究区域地下水管理有一定实际意义, 但是必须进行更长时间跨度监测, 结合不同地区、不同土壤类型和不同种植作物分析地下水特征过程中, 没有明显差异, 可能地下水流向不明导致, 因此对于地下水氮磷物质去向也不清楚。

5. 结论

1) 研究区域农田和居民区地下水环境处于极差状态, 总体上农田地下水状态有恶化趋势, 居民区较稳定。在农田范围, 推行化肥减施、节氮栽培势在必行。

2) 从单项指标来看, 农田和居民区地下水铵态氮处于地下水环境质量标准劣 V 类水且呈现恶化趋势, 居民区亚硝酸盐处于四类, 且农田亚硝酸盐有恶化趋势, 2015 年总氮和氨氮含量变化较大, 硝酸盐和总磷指标总体良好。

3) 农田和居民区的铵态氮和总氮相关性极显著, 在农田表现为铵态氮和硝酸盐相关性极显著, 在居民区铵态氮和亚硝酸盐相关性极显著。

参考文献

- [1] 李艳. 农业区地下水污染对地表水环境的影响研究——以千烟洲为例[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2013.
- [2] 毕晶晶, 彭昌盛, 胥慧真. 地下水硝酸盐污染与治理研究进展综述[J]. 地下水, 2010, 32(1): 97-102.

- [3] 曹会兰. 亚硝酸盐对人体的危害和预防[J]. 微量元素与健康研究, 2003, 20(2): 57-58.
- [4] 刁斌, 翟丽梅, 刘申, 刘宏斌, 杨波, 任天志. 有机无机肥配施对玉米产量及土壤氮磷淋溶的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 326-335.
- [5] 黄东风, 王果, 李卫华, 邱孝焯. 菜地土壤氮磷面源污染现状、机制及控制技术[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4):991-1001.
- [6] 李海鹏, 张俊飏. 中国农业面源污染与经济发展关系的实证研究[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(6): 585-590.
- [7] 马国霞, 於方, 曹东, 牛坤玉. 中国农业面源污染物排放量计算及中长期预测[J]. 环境科学学报, 2012, 32(2): 489-497.
- [8] Kumar, S.K., Rammohan, V., Sahayam, J.D. and Jeevanandam, M. (2009) Assessment of Groundwater Quality and Hydrogeochemistry of Manimuktha River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, **159**, Article No. 341. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0633-7>
- [9] Qin, R.G., Wu, Y.Q., Xu, Z.G., Xie, D. and Zhang, C. (2013) Assessing the Impact of Natural and Anthropogenic Activities on Groundwater Quality in Coastal Alluvial Aquifers of the Lower Liaohe River Plain, NE China. *Applied Geochemistry*, **31**, 142-158. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.01.001>
- [10] Gu, H.B., Chi, B.M., Li, H.J., Jiang, J., Qin, W. and Wang, H. (2015) Assessment of Groundwater Quality and Identification of Contaminant Sources of Liujiang Basin in Qinhuangdao, North China. *Environmental Earth Sciences*, **73**, 6477-6493. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3870-9>
- [11] 焦军霞, 杨文, 王美慧, 孟岑, 王毅, 李裕元, 等. 亚热带红壤丘陵区浅层地下水氮淋失特征研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(7): 2193-2201.
- [12] 金赞芳, 潘志彦, 李非里, 万瑜, 叶红玉, 金漫彤. 不同种植类型地下水污染与氮素时空变异特征分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 81-86.
- [13] Rouabhia, A., Baali, F. and Fehdi, C. (2010) Impact of Agricultural Activity and Lithology on Groundwater Quality in the Merdja Area, Tebessa, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, **3**, 307-318. <https://doi.org/10.1007/s12517-009-0087-4>
- [14] Kaown, D., Koh, D.C., Mayer, B. and Lee, K.-K. (2009) Identification of Nitrate and Sulfate Sources in Groundwater Using Dual Stable Isotope Approaches for an Agricultural Area with Different Land Use (Chuncheon, Mideastern Korea). *Agriculture Ecosystems & Environment*, **132**, 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.004>
- [15] Koh, D.C., Mayer, B., Lee, K.S. and Ko, K.-S. (2010) Land-Use Controls on Sources and Fate of Nitrate in Shallow Groundwater of an Agricultural Area Revealed by Multiple Environmental Tracers. *Journal of Contaminant Hydrology*, **118**, 62-78. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2010.08.003>