

贵州省中部喀斯特山区城镇化对浅层地下水氮磷的影响及评价

凌明阁, 刘方, 朱健, 张巧香

(贵州大学 环境与资源研究所, 贵州 贵阳 550025)

摘要:以贵州中部普定县后寨河喀斯特流域为研究对象,采集林区、农区、村寨居民区、城镇居民区常年流出的泉水进行化学分析,探讨城镇化对喀斯特山区浅层地下水氮磷含量的影响及水质的变化。结果表明,调查区内浅层地下水中 NO_3^- 浓度变化范围在 1.18~43.6 mg/L, NH_4^+ 浓度变化范围在 0.017~0.290 mg/L,其中村寨居民区浅层地下水中 NO_3^- , NH_4^+ 含量达Ⅲ类水质标准,城镇居民区 NH_4^+ 含量超过Ⅲ类水质标准;总磷含量变化范围在 0.012~0.682 mg/L,城镇居民区、村寨居民区总磷含量超过直接影响水质的限值。喀斯特山区城镇化造成地下水氮、磷含量增加,从而明显影响地下水的品质。

关键词:喀斯特山区; 城镇化; 浅层地下水; 水质

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0141-04

中图分类号: S156.1, S157.1

Influence of Urbanization on Concentrations of N and P in Shallow Groundwater and Its Evaluation in Karst Hilly Area of Guizhou Province

LING Ming-ge, LIU Fang, ZHU Jian, ZHANG Qiao-xiang

(Institute of Environment and Resources, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: By selecting the research region located in Houzhai River basin of Puding County in central karst region of Guizhou Province, water samples of perennial spring water in forest area, farming area, rural residential area and town residential area were collected and analyzed to investigate the influence of urbanization on the N and P concentrations in shallow groundwater and the change of water quality. Results show that the concentrations of NO_3^- and NH_4^+ in shallow groundwater were within 1.18~43.6 and 0.017~0.290 mg/L, respectively, of which the concentrations of NO_3^- and NH_4^+ in the shallow groundwater of forest area, farming area and rural residential area were in the range of the class III water quality, but the concentration of NH_4^+ in town residential area was beyond the class III water quality. The concentration of total P was within 0.012~0.682 mg/L, but in rural and town residential areas, the concentration of total P exceeded the limit of water quality. The contents of N and P in groundwater increase in the process of urbanization, which exerts a significant impact on groundwater quality in the karst hilly area.

Keywords: karst hilly area; urbanization; shallow groundwater; water quality

喀斯特山区岩溶空间介质具有地上和地下双层结构,可溶岩的造壤能力低,岩溶水的空间分布不均,地表地下水关系密切,水源易漏失,水、土等生态环境十分脆弱,极易受到人为因素的影响和破坏,使人类活动产生的污染物从地表水及孔隙水通过岩溶裂隙直接进入岩溶含水层,地下水极易受到污染。

表层岩溶泉水主要是储存于表层岩溶带的地下水,为近地面的表层地下水系统,其独特的形成方式

和在喀斯特山区的普遍分布使其在该地区城市工农业生产 and 人民生活用水等方面占有着非常重要的作用。目前,对不同利用方式下喀斯特山区地下水质量的变化开展了一些研究^[1-4],但对城镇化过程中地下水质量的演变还研究较少。本文以贵州中部普定县后寨河喀斯特流域为研究对象,研究城镇化对浅层地下水氮、磷的影响,为喀斯特山区城镇化进程中水资源合理开发利用和可持续发展提供重要的科学依据。

收稿日期:2012-05-12

修回日期:2012-05-31

资助项目:国家自然科学基金项目“喀斯特农业小流域土壤—水系统中氮磷迁移过程与表层岩溶水质响应机理研究”(40961030);教育部重大地区科研合作项目“喀斯特山区农业面源污染控制技术研究与运用”(2009-20)

作者简介:凌明阁(1987—),女(汉族),河南省商丘市人,在读硕士,主要从事环境污染控制研究。E-mail:ling376685325@163.com。

通信作者:刘方(1964—),男(汉族),贵州省天柱县人,教授,博士,主要从事土壤环境化学的研究。E-mail:lfang123@tom.com。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域为贵州中部普定县以南 18 km 的后寨河喀斯特流域,地理位置为东经 $105^{\circ}41'27''$ — $105^{\circ}43'28''$,北纬 $26^{\circ}13'3''$ — $26^{\circ}15'3''$,面积 80.65 km^2 。流域地处黔中高原西部的长江水系乌江上游三岔河支流与珠江水系北盘江支流白水河之间的分水岭地区。流域内地势东南高,西北低,峰林、峰丛、丘陵与谷地、洼地、盆地相间,地势平缓开阔,具有典型的高原分水岭型喀斯特地貌特征。该流域属湿润亚热带气候,全年湿润多雨,冬温夏暖,雨热同期,春干秋雨,每年的 5—10 月为雨季,降水量占全年的 80% 以上,11 月至翌年的 4 月为枯季,降水量约占全年的 20%,多年平均气温 $15.11 \text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均日照时数 $1\ 184 \text{ h}$,平均相对湿度 $70\% \sim 80\%$ [5]。

流域内碳酸盐岩广为分布,出露地层为三叠系中统关岭组(T2g3),岩性为灰岩、白云岩、泥质灰岩及页岩夹灰岩,地层产状平缓。在土地总面积中,耕地面积为 $1\ 651.9 \text{ hm}^2$,占 20.4%,其中水稻田为 $1\ 112.1 \text{ hm}^2$,占耕地面积的 67.3%,其余为旱耕地。植被覆盖率,由于人为破坏,自 1958 年至 1978 年由 25% 下降到 9%,其中森林覆盖率为 5.8%,灌丛林覆盖率为 3.2%。

1.2 样品采集与处理

样品于 2011 年 9 月采自研究区的陈旗堡村、赵家田村,马官镇马官屯村、太平村、店子上寨,城关镇老城区及周边地区。在选取的代表不同城镇化程度的林区、农区、村寨居民区、城镇居民区的相应的地段,采集岩层裂隙中常年渗出的泉水作为浅层地下水水样,共采集了 19 个泉点。其中,林区为 1—3 号水样,该地区部分原生植被和大部分次生植被保护比较完好,受人为活动影响较小;农区为 4—9 号水样,该地区土地多开垦为耕地,主要种植水稻、玉米等,存在稀疏的灌木草丛,耕地有施肥行为;村寨居民区为 10—14 号水样,人口较密集,零星分布有菜地、旱地和稻田;城镇居民区为 15—19 号水样,人口密集,城镇化程度较高。

采集的水样盛于清洁的塑料瓶中,并及时送实验室分析。室内量取 500 ml 采集水样通过 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜,对过滤的水样进行水化学参数的测定,测定项目有 pH 值、高锰酸盐指数(KI), NH_4^+ , NO_3^- ,总氮(TN),总磷(TP),其中 NH_4^+ 采用靛酚蓝光度法测定, NO_3^- 采用紫外分光光度法测定,pH 值采用玻璃电极法测定,高锰酸盐指数采用酸性高锰酸钾氧化法

测定,总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,总磷采用异丁醇萃取—钼蓝比色法测定。

2 结果与分析

喀斯特地区生态环境的脆弱性,使人类活动在很大程度上影响着表层岩溶泉水的水质 [6]。该流域不同城镇化程度下浅层地下水水化学组成和测定结果如表 1 所示。

表 1 后寨河喀斯特流域不同城镇化程度下浅层地下水化学变化

样号	pH 值	KI	NO_3^-	NH_4^+	TN	TP
1	7.9	1.20	1.791	0.017	4.393	0.012
2	7.6	0.80	1.716	0.029	6.425	0.037
3	7.2	1.36	1.179	0.045	6.115	0.032
4	7.4	1.60	5.507	0.179	28.531	0.069
5	7.6	1.44	3.963	0.105	22.956	0.062
6	7.3	1.24	3.654	0.086	17.815	0.062
7	7.2	0.88	2.864	0.141	17.027	0.062
8	7.2	1.20	5.198	0.136	13.296	0.051
9	7.6	0.88	2.131	0.162	12.156	0.045
10	7.6	1.12	7.267	0.129	18.868	0.100
11	7.9	0.96	3.217	0.124	48.043	0.066
12	7.4	0.88	20.201	0.081	28.902	0.056
13	7.3	1.28	3.783	0.202	44.326	0.055
14	6.8	2.92	10.731	0.219	35.159	0.143
15	7.2	2.16	6.742	0.290	38.751	0.093
16	7.1	1.60	11.837	0.240	28.964	0.074
17	6.9	1.84	20.638	0.252	68.583	0.682
18	7.1	1.04	14.565	0.235	76.957	0.090
19	6.7	2.16	43.565	0.354	105.699	0.219

注: KI 为高锰酸盐指数; NO_3^- -N, NH_4^+ , TN, TP, 单位为 mg/L 。

2.1 不同城镇化程度下浅层地下水氮含量(NO_3^- , NH_4^+ 含量)变化特征

地下水 NO_3^- 污染是目前相当普遍的污染问题,已成为饮用水源的重要威胁。图 1 中 NO_3^- 平均含量林区为 1.562 mg/L ,农区为 3.886 mg/L ,村寨居民区为 9.040 mg/L ,城镇居民区为 19.469 mg/L ,城镇居民区、村寨居民区、农区浅层地下水 NO_3^- 含量分别为林区的 12.5, 5.8, 2.5 倍。随着城镇化程度提高,林区、农区、村寨居民区和城镇居民区的浅层地下水 NO_3^- 含量逐步增大。

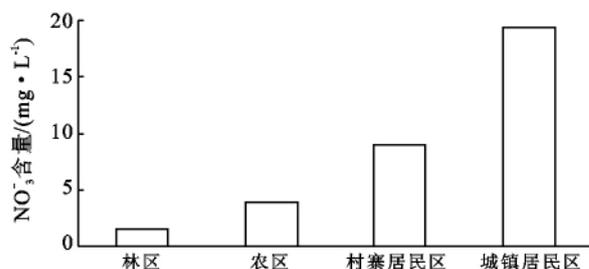


图 1 不同城镇化程度下浅层地下水 NO_3^- 含量

林区、农区、村寨居民区、城镇居民区浅层地下水中 NH_4^+ 均有检出,其中,林区变化范围为 0.017~0.045 mg/L,农区为 0.086~0.179 mg/L,村寨居民区为 0.081~0.219 mg/L,城镇居民区为 0.235~0.354 mg/L(表 1),不同城镇化程度下浅层地下水 NH_4^+ 含量林区<农区<村寨居民区<城镇居民区(图 2)。

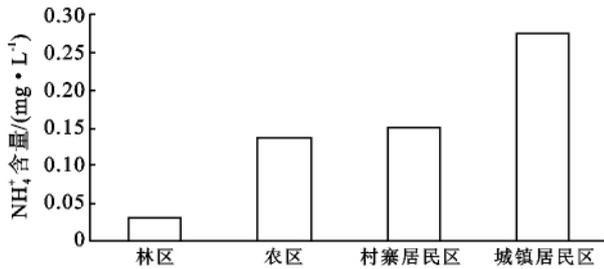


图 2 不同城镇化程度下浅层地下水 NH_4^+ 含量

2.2 不同城镇化程度下浅层地下水磷含量变化特征

浅层地下水总磷含量变化范围林区为 0.011 6~0.036 8 mg/L,农区为 0.045 4~0.069 2 mg/L,村寨居民区为 0.054 8~0.142 6 mg/L,城镇居民区为 0.068 2~0.218 6 mg/L(表 1),其均值城镇居民区(0.231 6 mg/L)为农区(0.058 5 mg/L)的 3.96 倍、村寨居民区(0.083 7 mg/L)的 2.76 倍,村寨略高于农区,且都高于林区(0.026 9 mg/L)。随着城镇化程度提高,地下水总磷浓度呈上升的趋势(图 3)。

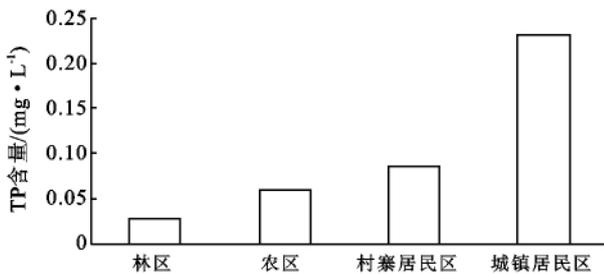


图 3 不同城镇化程度下浅层地下水 TP 含量

2.3 城镇化对浅层地下水质量的影响

根据地下水质量标准(GB/T 14848-93),以Ⅲ类水为基准, KI , NO_3^- , NH_4^+ 为指标进行分类。不同城镇化程度下浅层地下水 KI 平均值林区为 1.12 mg/L,农区为 1.21 mg/L,村寨居民区为 1.43 mg/L,城镇居民区为 1.76 mg/L,林区、农区、村寨居民区、城镇居民区浅层地下水 KI 均 ≤ 3.0 mg/L(表 1),属于Ⅲ类水质,水质良好。地下水 NO_3^- 含量(表 1),林区、农区属于Ⅲ类水质(≤ 20 mg/L);店子上寨接近安顺火电厂,寨内水井水质超过Ⅲ类, NO_3^- 含量超标,其他村寨区域水质较良好,达到Ⅲ类水质标准;城镇居民

区部分区域地下水 NO_3^- 含量超过Ⅲ类水质标准,存在硝酸盐污染,其超标率达到 40%。从图 2 中可看出,该流域林区、农区、村寨居民区浅层地下水中 NH_4^+ 含量均属于Ⅲ类水质标准(≤ 0.2 mg/L),城镇居民区地下水 NH_4^+ 含量平均值达到 0.274 mg/L,超过Ⅲ类水质标准,超标率为 100%。欧盟 Council Directive 80/778/EEC 建议饮用水中 P 含量限值(P_2O_5)为 0.4 mg/L^[7],本文换算为 TP 含量则限值为 0.087 mg/L。各区域浅层地下水中 TP 的含量(图 3),林区、农区未达到直接影响水质的限值,但城镇居民区、村寨居民区 TP 含量超过这一限值,城镇居民区 TP 含量达到限值的 2.7 倍,对地下水体存在潜在的影响。喀斯特山区城镇化明显影响地下水的质,随着城镇化程度的提高,该地区地下水质量存在由Ⅱ类,Ⅲ类水向Ⅳ类水转变的趋势,水质变差。

3 讨论

普定县后寨河喀斯特流域在林区→农区→村寨居民区→城镇居民区的城镇化过程中,浅层地下水的化学组成及水质发生了变化。该研究流域浅层地下水氮、磷含量明显增加,这与本地城镇化建设水平和人类活动有关。普定县城镇化发展比较迟缓,而且城镇绝大多数是 20 世纪 80 年代后建立起来的,多布局混乱,功能不完善,居民的排泄物和废弃物排放不合理。村寨多为少数民族聚居地,规模较小,布局分散,经济发展水平落后,居民点建设缺少系统规划,绝大多数村寨没有完好的排水沟渠,只有一些小阴沟,没有垃圾处理场所等,生活污水和垃圾任意丢弃,有的虽然集中在一起,也无人处理。大量的生活污水、粪便通过渗井与化粪池渗入地下,使大量有机物进入土壤中或沿着溶蚀裂隙、管道等迅速下渗到地下水中,从而造成地下水中氮、磷污染。农田地下水氮、磷超标,主要原因是施用过量氮肥和磷肥^[8-9],喀斯特山区农业人口多,但土被不完整,土壤多留存于石沟、石缝、石槽中,土层浅薄,土壤养分较低,在有限的耕地上提高作物产量,施肥是主要措施。喀斯特山区化学肥料和农药的施用已经对地下水环境产生了明显的影响,尿素中的铵态氮被微生物硝化成硝态氮,硝态氮易溶,在松散沉积物中的迁移能力很强,可以随土壤中的渗透水通过裂隙进入表层岩溶泉水中^[10],而农田施加过量的含磷肥料则会促使磷素的地下渗漏,是农区地下水水体磷素污染的主要来源^[9]。

由于喀斯特山区独特的二元水文结构,岩溶裂隙沟通了地表水与孔隙水含水层以及岩溶水含水层的联系,污染物从地表水及孔隙水通过岩溶裂隙直接进

入岩溶含水层,使喀斯特地区地下水更容易受到人类活动的影响。本文初步探讨了贵州中部喀斯特山区城镇化对浅层地下水氮、磷的影响,就城镇化过程中喀斯特山区地下水氮、磷迁移转化还缺乏系统研究,需进一步进行空间和时间连续性变化的深入调查。

4 结论

在人类活动影响下,贵州中部喀斯特山区城镇化在从林区→农区→村寨居民区→城镇居民区的变化过程中,地下水氮、磷含量出现显著上升的变化。

(1) 调查区内浅层地下水中 NO_3^- 浓度变化范围为 1.18~43.6 mg/L, NH_4^+ 浓度变化范围为 0.017~0.290 mg/L, 其中村寨居民区浅层地下水中 NO_3^- , NH_4^+ 含量达Ⅲ类水质标准,城镇居民区 NH_4^+ 含量超过Ⅲ类水质标准。

(2) 调查区内浅层地下水中总磷含量变化范围为 0.012~0.682 mg/L, 其中城镇居民区、村寨居民区总磷含量超过直接影响水质的限值,对地下水体存在潜在的影响。

(3) 喀斯特山区城镇化造成地下水氮、磷含量增加,从而明显影响地下水的品质。在喀斯特山区发展城镇化的同时要兼顾地下水资源的保护。

[参 考 文 献]

[1] 贾亚男,袁道先,何多兴. 桂林东区土地利用变化对浅层岩溶地下水质的影响[J]. 西南师范大学学报:自然科学

版,2006,31(4):167-171.

- [2] 章程,曹建华. 不同植被条件下表层岩溶泉动态变化特征对比研究:以广西马山弄拉电堂泉和东旺泉为例[J]. 中国岩溶,2003,22(1):1-5.
- [3] 刘方,王世杰,罗海波,等. 喀斯特石漠化过程中植被演替及其对径流水化学的影响[J]. 土壤学报,2007,54(2):37-43.
- [4] 蒋勇军,袁道先,谢世友,等. 典型岩溶农业区地下水水质与土地利用变化分析[J]. 地理学报,2006,61(5):471-481.
- [5] 万洪涛,杨勇,史运良. 典型喀斯特流域水资源可持续利用研究:以贵州省普定后寨河流域为例[J]. 南京大学学报:自然科学版,1998,34(3):1-7.
- [6] 路洪海,章程. 后寨河流域岩溶含水层脆弱性及对土地利用方式的响应[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(4):520-524.
- [7] Stigter T Y, Ribeiro L, Carvalho D A. Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies: Two portuguese case studies[J]. Journal of Hydrology, 2006,327(3/4):578-591.
- [8] 张庆忠,陈欣,沈善敏. 农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展[J]. 应用生态学报,2002,13(2):233-238.
- [9] 刘方,罗海波,刘元生,等. 喀斯特石漠化区农业土地利用对浅层地下水质量的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(6):1214-1221.
- [10] 全国环境水文地质学术讨论会论文选编组. 环境水文地质理论及方法研究[M]. 北京:地质出版社,1987:205-209.

(上接第 22 页)

4.2.4 加大抗旱减灾工作 舟曲地区水资源在季节之间分布的极不平衡,加之抗旱能力不强,由干旱引起的灾害频繁发生,必须加强防旱工作,减少旱灾作为原生灾害造成的损失,同时尽可能地避免由旱灾引起的各种次生灾害和衍生灾害。

(1) 加快抗旱水源工程建设,兴修雨水集流工程和配套蓄水工程,建立节水工程投入的长效机制。在县域白龙江流域内兴建小型灌溉工程、蓄水工程,于降水集中期蓄水以备过后灌溉之用,并注意利用地表水、地下水及汛期洪水作为抗旱补充水源,实施地下水回归工程。(2) 加强旱情监测。根据气象、水文、耕地土壤墒情等情况,及时了解掌握舟曲县区雨情、水情、旱情和长短期气象分析预报,对旱灾发生的时间、受旱范围、程度等进行监测和及时评估,提高县区旱情信息测报系统的覆盖范围和精度,为抗旱提供科学依据。(3) 在全县范围内推广先进节水技术,减少水的深层渗漏,提高灌溉效益,提高水资源利用率。这方面的措施有:实行科学种植,推广种植耐旱、低耗

水农作物新品种,缩减高耗水作物在种植结构中的比重,发展旱生、岩生及喜钙的经济林木,对县内非农业用水进行循环技术改造等。(4) 强化对舟曲县域水资源的统一管理,做到计划用水、节约用水和科学用水,实现各水需求之间的合理比例。及早对全县水资源进行优化配置,合理科学配置农业用水、非农业用水和生态用水的水资源的需求。保障生态用水,维护生态系统,避免土地沙化和地下水位下降,从源头上预防各类自然灾害。

[参 考 文 献]

- [1] 宋宗水. 陇南地区的泥石流及水土流失的治理[J]. 中国水土保持,1989,24(6):43-48.
- [2] 甘肃省舟曲县地方志编纂委员会. 舟曲县志[M]. 甘肃:方志出版社,2010:145.
- [3] 甘肃省舟曲县地方志编纂委员会. 舟曲县志[M]. 甘肃:方志出版社,2010:139.
- [4] 魏新功. 舟曲“8·8”特大山洪泥石流灾难原因分析及山洪泥石流防治对策[J]. 甘肃科技,2011(5):78-81.