

喀斯特山区不同农作方式下土壤质量变化对浅层地下水质量的影响

廖婧琳¹, 苏 跃², 李 航³, 刘 方⁴, 冯泽蔚²

(1.贵州财经学院旅游管理学院, 贵阳 550004; 2.贵州省农业厅, 贵阳 550001; 3.西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 4.贵州大学环境与资源研究所, 贵阳 550003)

摘 要:选择贵州中部喀斯特山区普定县猫洞小流域,对长期受不同农作行为影响的区域(低复种旱作区、高复种旱作区、高复种复合农作区)土壤和浅层地下水进行采样和分析。结果表明,不同农作区浅层地下水化学组分明显不同,从低复种指数的旱作区、高复种指数的旱作区到高复种指数的复合农作区,浅层地下水中的 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、高锰酸钾指数和 SO_4^{2-} 的含量依次增大,呈显著上升趋势,在高复种指数农作区浅层地下水中氮磷含量更高;在浅层地下水中, NO_3^- 含量受土壤有机质、腐植酸、全氮和碱解氮的影响最大, PO_4^{3-} 含量受土壤全磷、碱解氮、CEC 的直接影响大; Cl^- 对浅层地下水影响不明显。不同农作方式对地下水的 NO_3^- 、 NH_4^+ 、高锰酸钾指数的贡献存在差异,可见喀斯特特殊的双重水文结构使水环境质量易受土壤质量等环境因素影响,特别是浅层地下水更易受到污染。

关键词:喀斯特;小流域;农户生产行为;浅层地下水;水质

中图分类号:X523 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)12-2351-06

Effects of Farming Behaviors on Quality of Shallow Groundwater in Small Karst Basin

LIAO Jing-lin¹, SU Yue², LI Hang³, LIU Fang⁴, FENG Ze-wei²

(1.College of Tourism Management, Guizhou College of Finance and Economics, Guiyang 550004, China; 2.Agriculture Government Department of Guizhou Province, Guiyang 550001, China; 3.Environment and Resource College of Southwest University, Chongqing 400716, China; 4.Environment and Resource Institute of Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: Shallow groundwater and soil were analyzed by samples collected from three type of agricultural areas in small karst basin. Results showed that the chemical composition of shallow groundwater was distinctly varied in different farming regions. The permanganate index and the content of SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} in shallow groundwater increased by the order of dry farming areas of lower index with planting crops, complex agriculture areas with higher index planting crops. The content of nitrogen and phosphorus was higher in higher complex index planting crops farming areas. The content of NO_3^- in shallow groundwater was obviously influenced by organic matter, total nitrogen, available nitrogen; The content of PO_4^{3-} in shallow groundwater was mainly influenced by total phosphorus, available nitrogen and CEC; The tested 13 water chemistry components were hardly influenced by Cl^- in shallow groundwater. The different content of NO_3^- 、 NH_4^+ and permanganate index in shallow groundwater resulted from different agricultural practices. The special double hydrographic structures in Karst made the aquatic environment quality were easily influenced by some environmental factors such as land quality, especially the shallow groundwater was more likely prone to be polluted.

Keywords: karst; small basin; farming behaviors; shallow groundwater; water quality

喀斯特山区土壤质量较差, 由于农业人口多, 土

地负荷压力大, 种植业比重大。在有限的耕地上提高复种指数和施肥是提高作物产量的主要措施, 这也造成土壤氮磷含量的增加, 进而影响了水环境质量^[1-2]。喀斯特具有独特的二元水文结构, 地下水的动态变化与地表水存在直接的联系, 农业活动已成为喀斯特地下水污染的重要原因, 特别是化学肥料和农药的施用对水环境产生了明显地影响^[3-6]。本文通过对作物-土壤-水体间变化及其相互影响研究, 阐明喀斯特农业

收稿日期: 2010-04-14

基金项目: 国家重点基础研究项目(2006CB403200); 贵州省省长专项资金项目 [(2009)63 号]; 贵州省高层次人才特助项目 (TZJF-2007-10); 贵州省高等学校人文社会科学研究基地基金资助(200506)

作者简介: 廖婧琳(1974—), 女, 贵州平坝人, 硕士, 副教授, 主要从事旅游资源开发研究和教学工作。

通讯作者: 苏 跃 E-mail: suyue0136@sina.com

土地利用过程中不同农作方式对浅层地下水环境质量的保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

普定县位于贵州省中部偏西,处于乌江上游三岔河(属长江水系)与打帮河(属珠江水系)分水岭的北坡。猫洞小流域位于三岔河在普定县下游的猫洞乡境内,位于三岔河南岸,涉及可处、补堆、大荒地、红岩、熬硝坝、挂多等村寨,面积约 15 km²,属于峰丛型小流域。小流域内部分山顶有保存较好的乔木林,也有因人为破坏而导致退化的灌木林地和灌丛草地。本区大部分成壤母质以碳酸盐岩(石灰岩和白云岩)为主,碳酸盐岩经过长期风化而形成的石灰土,土层浅薄且不连续,一般厚度为 30~50 cm,土壤质地粘重,呈弱碱性。缓坡土层厚的地方为主要旱耕地,沟谷溪水两侧分布少量水田,沟谷坡上分布着村落。本区域农业人口多,种植业比重大,以旱作农业为主,玉米产量一般在 3 000~4 500 kg·hm⁻²,产量较低,施肥是提高作物产量的主要措施。依旧根据农户对土地的利用方式,把本小流域划分为 3 个区域^[7]:低复种旱作农业区、高复种旱作农业区、高复种复合农业区,简称低复种旱作区,高复种旱作区,高复种复合农作区。

1.2 土壤样品的采集和测定

于 2007 年 7—9 月(酶活性较高的夏末秋初)选取有代表性且母质相同(石灰岩)的 3 类农作区各 7 块样地。每个样地内选取 5~8 个样点,采集样点表层土壤(0~15 cm)混合。土壤有效磷采用 Olsen 法测定,有效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定,有效钙和镁采用醋酸铵浸提-EDTA 滴定法测定,其他项目采用常规方法测定^[8]。

1.3 浅层地下水样品的采集和测定

在相应的农业区采集从岩层裂隙中常年渗出的岩溶水作为浅层地下水水样。采集的流水样,盛于清洁的塑料瓶中,并在 24 h 内送实验室分析。水样经 0.45 μm 滤膜过滤,测定其水化学参数,具体指标包括 pH 值、高锰酸钾指数、8 种离子浓度(HCO₃⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻)。NH₄⁺采用靛酚蓝比色法测定;NO₃⁻采用紫外分光光度法测定;PO₄³⁻采用异丁醇萃取-钼蓝比色法测定;HCO₃⁻采用电位滴定法测定;SO₄²⁻采用 EDTA 间接滴定法测定;Ca²⁺和 Mg²⁺采用 EDTA 滴定法测定;K⁺和 Na⁺采用火焰光度法测定;高

锰酸钾指数采用酸性高锰酸钾氧化法测定;Cl⁻采用硝酸银滴定法测定。

1.4 数据统计及处理

数据经 Excel 整理后,采用 SPSS(10.0)和 DPS(V7.05)软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 浅层地下水化学组分变化特征

从表 1 看出,浅层地下水中阳离子主要是 Ca²⁺、Mg²⁺,其浓度变化范围分别为 67.8~136.04 mg·L⁻¹、14.01~35.44 mg·L⁻¹。阴离子主要是 HCO₃⁻、SO₄²⁻,其浓度变化范围分别为 83.8~225.8 mg·L⁻¹、63.3~166.4 mg·L⁻¹。可见,小流域内喀斯特浅层地下水化学类型以 HCO₃-Ca 型为主。低复种旱作区、高复种旱作区、高复种复合农作区的地下水中 Ca²⁺含量占离子总量(HCO₃⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻之和)的平均百分数(n=7)分别是 19.61%、16.31%和 21.98%,而 Mg²⁺含量则分别是 4.05%、5.96%和 5.73%;低复种旱作区、高复种旱作区、高复种复合农作区的地下水中 HCO₃⁻含量占离子总量的平均百分数分别是 52.07%、46.39%和 36.48%。可见,不同农用条件下浅层地下水的化学组成发生改变,影响了浅层地下水水质。

通过对浅层地下水中主要离子和元素浓度进行

表 1 浅层地下水化学组分的变化

Table 1 The Mean±SD of chemical index of the shallow groundwater under various farming patterns in small karst basin

化学指标	低复种旱作区 (n=7)	高复种旱作区 (n=7)	高复种复合农作区 (n=7)
pH	7.53±0.13aA	7.47±0.295aA	7.24±0.088aA
EC	243.14±57.43bB	394.57±322.38bAB	746.57±306.16aA
KI	1.96±0.54aA	2.03±0.58aA	2.46±1.18aA
HCO ₃ ⁻	180±38.14aA	229.44±83.85aA	225.79±41.23aA
SO ₄ ²⁻	63.33±11.26cB	120.03±54.75bAB	166.36±34.60aA
Cl ⁻	5.03±1.12aA	10.05±8.61aA	10.72±3.15aA
NO ₃ ⁻	9.44±4.31bB	15.02±7.33bB	33.67±9.17aA
PO ₄ ³⁻	0.0178±0.007bA	0.0367±0.016aA	0.0384±0.016aA
Ca ²⁺	67.8±42.60bB	80.66±42.81bB	136.04±10.38aA
Mg ²⁺	14.01±4.00bB	29.5±17.13aAB	35.44±11.27aA
NH ₄ ⁺	0.062±0.016aA	0.095±0.065aA	0.059±0.038aA
K ⁺	6.04±1.05aA	9.91±3.96aA	10.86±6.55aA

注:水化学元素、离子浓度单位为 mg·L⁻¹,电导率单位为 μS·cm⁻¹,KI 为高锰酸钾指数。数据为平均值±标准差,字母表示 Duncan 多重比较(SSR)的结果,不同小写字母处理间达到 P 为 0.05 的显著水平,不同大写字母处理间达到 P 为 0.01 的显著水平。

多重比较(SSR),随着复种强度的不同,浅层地下水中主要离子和元素浓度有较大差异(见表 1)。从低复种指数旱作区、高复种指数旱作区到高复种指数复合农作区,浅层地下水中的 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、高锰酸钾指数和 SO_4^{2-} 的含量依次增大,其中 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、高锰酸钾指数的含量均呈显著上升趋势。低复种指数旱作区浅层地下水中 NO_3^- 含量与高复种旱作区、高复种复合农作区的差异达极显著水平,而高复种旱作区与高复种复合农作区间的差异不显著;低复种指数旱作区浅层地下水 PO_4^{3-} 含量与高复种旱作区、高复种复合农作区差异均达显著水平,而高复种旱作区与高复种复合农作区间的差异也不显著;浅层地下水 NH_4^+ 、 K^+ 含量和高锰酸钾指数从低复种指数旱作区、高复种旱作区到高复种复合农作区依次增大,但差异均未达显著水平。各农作区间浅层地下水中 SO_4^{2-} 含量差异均达显著或极显著水平。随着种植模式改变,从低复种旱作区、高复种旱作区到高复种复合农作区,其地下水的 SO_4^{2-} 比例出现明显增加。由此可见,从低复种旱作区、高复种旱作区到高复种复合农作区,浅层地下水中 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、有机质等富营养化因子和 K^+ 含量明显增加,从而影响水环境质量。

2.2 土壤性质与浅层地下水质量的关系

2.2.1 相关分析

不同农作方式下,该区域的土壤性质发生较大变化^[7],将土壤理化指标与浅层地下水进行分析可见(表 2),浅层地下水中 PO_4^{3-} 含量与土壤全磷和速效磷含量达极显著正相关;浅层地下水中 NO_3^- 含量与土壤有机质、腐植酸、全氮、碱解氮含量呈正相关,但不显著。浅层地下水中 NH_4^+ 与土壤 CEC、交换镁达显著和极显著正相关。浅层地下水高锰酸钾指数与土壤有机质、腐植酸、粘粒(<0.01 mm 和 0.001 mm)指标间的均达显著或极显著性相关。

2.2.2 逐步回归及通径分析

多元回归方程能描述随机变量在多个回归因子中的平均变化规律,通径分析则是标准化的多元线性回归分析。将径流中 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 和高锰酸钾指数(KI)与土壤基本理化指标的测定结果进行回归,得到以下 4 个标准多元回归方程:

$$y_1 = 1.194\ 26x_1 - 1.361\ 74x_2 - 1.201\ 44x_3 + 0.867\ 466x_4 + 0.268\ 795x_5 + 2.402\ 251x_6 - 2.289\ 26x_7 + 0.792\ 839x_8 - 0.148\ 35x_9 + 0.037\ 823x_{10} + 0.045\ 53x_{11} + 0.212\ 081x_{12} - 0.313\ 44x_{13} - 0.291\ 8x_{14}$$

$$y_2 = 0.370\ 738x_1 + 0.370\ 568x_2 - 1.727\ 77x_3 + 0.725\ 422x_4 +$$

表 2 土壤理化指标与浅层地下水化学指标间的相关系数

Table 2 The coefficient between the soil characters and the quality index of various shallow groundwater

土壤指标(Soil index)	浅层地下水指标(Index of shallow groundwater)			
	NO_3^-	PO_4^{3-}	NH_4^+	KI
有机质(OM)	0.283 6	-0.152 2	0.150 6	0.639 2**
腐植酸(HA)	0.102 1	-0.118	0.101 7	0.440 4*
CEC	-0.009 4	0.128 4	0.520 6*	0.102 9
交换钙(A Ca)	-0.001	-0.102 9	0.042 6	-0.035 6
交换镁(A Mg)	-0.040 6	0.099 2	0.578 7**	0.227 6
全氮(TN)	0.406 1	0.049 2	-0.049 2	0.279
碱解氮(A N)	0.287 2	-0.067 2	-0.111 4	0.190 6
全磷(TP)	0.362 2	0.737 3**	0.193 5	-0.122 9
速效磷(AP)	0.397 9	0.676 2**	0.069 9	-0.073 5
全钾(TK)	-0.277	0.207 9	0.048 8	-0.475
速效钾(AK)	-0.528 4*	-0.566 7**	-0.074 2	-0.238
容重(Bulk density)	-0.324 7	-0.285 3	-0.153 5	-0.36
>0.01mm 粘粒 (clay)%	0.283 6	-0.152 2	0.150 6	0.639 2**
>0.001mm 粘粒 (clay)%	0.102 1	-0.118	0.101 7	0.440 4*

注:相关系数临界值, $\alpha=0.05$ 时, $r=0.432\ 9$; $\alpha=0.01$ 时, $r=0.548\ 7$ 。

$$0.265\ 967x_5 + 0.647\ 807x_6 - 2.037\ 7x_7 + 2.140\ 77x_8 + 0.245\ 69x_9 + 0.100\ 7x_{10} - 0.946\ 25x_{11} + 0.409\ 46x_{12} - 0.166\ 41\ x_{13} - 0.700\ 67x_{14}$$

$$y_3 = -0.448\ 85x_1 + 0.443\ 463x_2 + 2.781\ 731x_3 - 1.448\ 63x_4 - 0.203\ 33x_5 - 0.905\ 41x_6 + 1.897\ 311x_7 - 2.436\ 4x_8 + 0.276\ 302x_9 - 0.490\ 27x_{10} + 1.144\ 597x_{11} - 0.988\ 22x_{12} + 0.395\ 819x_{13} + 1.188\ 097x_{14}$$

$$y_4 = 2.027\ 858x_1 - 1.401\ 74x_2 - 0.843\ 73x_3 + 0.492\ 215x_4 + 0.398\ 39x_5 + 2.851\ 62x_6 - 2.309\ 5x_7 + 0.096\ 161x_8 - 0.551\ 3x_9 + 0.624\ 947x_{10} + 0.158\ 281x_{11} + 0.168\ 65x_{12} - 0.743\ 74x_{13} + 0.668\ 21x_{14}$$

其中: y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 分别为标准化浅层地下水中的 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 和 KI; $x_1 \sim x_{14}$ 为标准化的土壤理化性质(x_1 为有机质, x_2 为腐植酸, x_3 为 CEC, x_4 为交换钙, x_5 为交换镁, x_6 为全氮, x_7 为碱解氮, x_8 为全磷, x_9 为速效磷, x_{10} 为全钾, x_{11} 为速效钾, x_{12} 为容重, x_{13} 为 >0.01 mm 粘粒, x_{14} 为 >0.001 mm 粘粒)。方程中的系数即为直接通径系数,它乘以各肥力因子之间的相关系数就得到间接通径系数,表略。

按绝对值大小,对浅层地下水中 NO_3^- 含量的直接影响力排序依次为:全氮>碱解氮>腐植酸>CEC>有机质>交换钙>全磷>粘粒>0.01 mm>粘粒>0.001 mm>交换镁>容重>速效磷>速效钾>全钾。对浅层地下水中 PO_4^{3-} 含量的直接影响为:全磷>碱解氮>CEC>速效钾>交换钙>>0.001 mm 粘粒>全氮>容重>有机质>腐植

酸>交换镁>速效磷>>0.01 mm 粘粒>全钾。对浅层地下水 NH_4^+ 含量直接影响是:CEC>全磷>碱解氮>交换钙>粘粒>0.001 mm>速效钾>容重>全氮>全钾>有机质>腐植酸>>0.01 mm 粘粒>速效磷>交换镁。对浅层地下水 KI 直接影响是:全氮>碱解氮>有机质>腐植酸>CEC>>0.01 mm 粘粒>粘粒>0.001 mm>全钾>速效磷>交换钙>交换镁>容重>速效钾>全磷。

逐步回归和通径分析表明:浅层地下水中 NO_3^- 含量的受土壤全氮、碱解氮、腐植酸、CEC、有机质的直接影响力较大,直接通径系数分别高达 2.402 3、-2.289 3、-1.361 7、-1.201 4、1.194 3。土壤容重对浅层地下水中 NO_3^- 含量直接影响不大,间接通径影响系数为 0.212 1,但通过土壤有机质、腐植酸对水中 NO_3^- 含量的间接影响系数却为-0.856 9、0.898 8。可见,浅层地下水中 NO_3^- 流失受土壤有机质、腐植酸、全氮和碱解氮的影响最大。浅层地下水中 PO_4^{3-} 含量受土壤全磷、碱解氮、CEC 的直接影响很大,直接通径系数分别高达 2.140 8、-2.037 7、-1.727 8。土壤速效磷直接对浅层地下水中 PO_4^{3-} 含量直接影响不大(直接通径系数是 0.245 7),通过全磷对地下水中 PO_4^{3-} 含量的间接通径系数是 1.804。浅层地下水中 NH_4^+ 含量受土壤 CEC、全磷、碱解氮、交换钙、粘粒>0.001 mm 的直接影响较大,直接通径系数分别是 2.437 2、-1.379 1、1.101 5、1.897 3、1.188 1、1.144 6。土壤全氮、有机质和腐植酸直接对浅层地下水中 NH_4^+ 直接通径系数,仅是其通过碱解氮对浅层地下水中 NH_4^+ 含量间接通径系数的 1/2 以下。可见,土壤碱解氮、全氮、有机质和腐植酸对浅层地下水中 NH_4^+ 含量影响较大。此外,土壤 CEC 和土壤质地对浅层地下水中 NH_4^+ 含量流失影响很大。浅层地下水高锰酸钾指数受土壤全氮、碱解氮、有机质、腐植酸的直接影响较大,直接通径系数分别是 2.851 62、-2.309 5、2.027 858、-1.401 74。可见土壤中有有机质、腐植酸、全氮和碱解氮对浅层地下水中有机质的影响最大。

综上所述,在农业用地下,浅层地下水中 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 含量和高锰酸钾指数一定程度上受土壤质量和植被变化的影响,土壤氮磷及有机物含量一定程度上影响了浅层地下水水环境质量。

2.3 对浅层地下水质量的影响评价

为了寻找喀斯特浅层地下水化学变化的主导因子,对 13 种水化学参数进行因子分析(主成分法)。结果如表 3。可见,第一主成分的方差贡献率最大,为 49.03%,加上第二、第三、第四主成分方差贡献率,其

累积方差贡献率为 86.423%(大于 85%),因此前 4 个主成分能基本反映浅层地下水的变异信息。再将土壤主成分进行分权计算,并计算出各因子在各主成分上的载荷(表 4)。在第一至四主因子中提取负荷值大于 0.70 的因子来评价水化学的变化。由此可知,第一主因子主要由 pH 、 EC 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 所决定,第二主因子主要由 HCO_3^- 、高锰酸钾指数、 NH_4^+ 所决定,第三主因子主要由 K^+ 所决定。仅 Cl^- 对浅层地下水影响不明显。

选用上述发生明显变化的 12 个指标(除 Cl^-)作为评价地下水质量变化的指标,采用欧氏最短距离法对不同农用生态区的浅层地下水质量水平进行聚类分析,结果表明(图 1)这些地下水的质量等级可大致分为 3 大类型(1~7、14~15 号样地为一类,8、10~13 号样地为一类,16~21 号样地为一类)。

根据聚类分析结果,选取主要富营养化指标 3 类样地进行统计(表 5),参考我国目前采用的地下水质量标准(GB/T 14848—1993),可初步将对地下水的影响程度分为 3 类:第一类型为以低复种旱作区的地下水为主体构成, NO_3^- 含量部分达 II~III 类地下水体的标准,高锰酸钾指数部分超 II 类地下水体的标准, NH_4^+ 部分超 II 类地下水体的标准,浅层地下水受到一定程度的影响;第二类型以高复种旱作农业区的地下水为主体, NO_3^- 含量达 II~III 类地下水体

表 3 浅层地下水的主成分特征根

Table 3 Principal component eigenvalues of the shallow groundwater

因子 Factor	特征值 Eigenvalues	百分率/% Percent of variance	累计百分率/% Cumulative percent
1	6.374	49.030	49.030
2	2.990	23.002	72.032
3	1.012	7.783	79.815
4	0.859	6.608	86.423
5	0.617	4.747	91.171
6	0.384	2.951	94.121
7	0.239	1.841	95.962
8	0.188	1.448	97.410
9	0.133	1.024	98.434
10	0.084	0.648	99.082
11	0.069	0.529	99.611
12	0.033	0.253	99.864
13	0.018	0.136	100.000

注:特征根指的是累积方差贡献率。

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy(KMO)=0.690.

表 4 浅层地下水指标的供试土壤主成分的特征向量

Table 4 Principal component eigenvectors of the shallow groundwater				
参数 Index	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4
pH	-0.848	-0.267	0.165	0.108
EC	0.837	-0.481	-0.184	-0.002
HCO ₃ ⁻	0.449	-0.771	-0.122	0.267
SO ₄ ²⁻	0.881	-0.046	-0.125	0.212
Cl ⁻	0.543	0.661	0.071	0.353
NO ₃ ⁻	0.820	0.314	0.148	-0.305
PO ₄ ³⁻	0.744	-0.336	0.369	0.259
Ca ²⁺	0.799	0.331	-0.223	-0.069
Mg ²⁺	0.767	-0.131	-0.227	-0.028
NH ₄ ⁺	-0.040	0.786	-0.086	0.562
Na ⁺	0.926	-0.102	-0.094	-0.184
K ⁺	0.550	-0.106	0.795	0.002
KI	0.263	0.823	0.088	-0.302
特征值	6.374	2.990	1.012	0.859
方差贡献率/%	49.03	23.002	7.783	6.608
累计百分率/%	49.03	72.032	79.815	86.423

的标准,高锰酸钾指数部分超Ⅱ类地下水体的标准定,NH₄⁺部分超Ⅱ类地下水体的标准,这类浅层地下水受到了影响;第三类型以复合农业区的地下水为主体构成,NO₃⁻含量部分超Ⅲ类地下水体的标准,高锰酸钾指数达Ⅱ~Ⅲ类地下水体的标准,NH₄⁺部分超Ⅱ类地下水体的标准,这类浅层地下水的质量受到的影响。

可见农业土地利用过程中,在喀斯特地区由于特殊的二元水文结构,水环境质量易受土壤质量等环境因素影响。与非喀斯特地区相比,当地浅层地下水更易受到污染。

表 5 浅层地下水水质指标等级变化范围

Table 5 The ranges of shallow groundwater quality under various farming patterns					
类别 Type	数值 Item	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	KI
Ⅰ (n=9)	范围 Scope	4.7~14.1	0.005 4~0.027 1	0.046~0.089	1.5~3.1
	均值 Mean	10.74	0.018 1	0.062	2.01
Ⅱ (n=5)	范围 Scope	7.6~23.65	0.022 5~0.036	0.036~0.218	1.3~3.22
	均值 Mean	14.86	0.035 9	0.101	2.05
Ⅲ (n=7)	范围 Scope	24.3~45.7	0.022~0.069 3	0.047~0.101	1.4~4.16
	均值 Mean	33.67	0.038 4	0.047 5	2.46

注:水化学元素、离子浓度单位为 mg·L⁻¹,电导率单位为 μS·cm⁻¹,KI 为高锰酸钾指数。

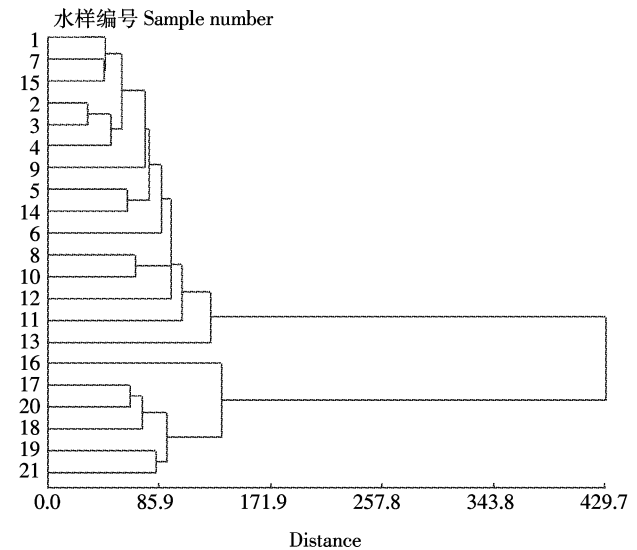


图 1 浅层地下水聚类图

Figure 1 The result of cluster analysis of the shallow groundwater quality under various farming patterns

3 结论

(1)不同农作区浅层地下水化学组分也有明显不同。从低复种指数的旱作区、高复种指数的旱作区到高复种指数的复合农作区,浅层地下水中的 NO₃⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻、高锰酸钾指数和 SO₄²⁻的含量依次增大,呈显著上升趋势。相关分析及通径分析表明:浅层地下水中 NO₃⁻、PO₄³⁻、NH₄⁺含量和高锰酸钾指数受土壤质量的影响。

(2)对 13 种水化学参数进行因子分析(主成分法)可知,仅 Cl⁻对浅层地下水影响不明显。将上述明显变化的 12 个指标作为评价地下水质量变化的指标(除 Cl⁻),采用欧氏最短距离法对不同生态区的地下水质量水平进行聚类分析,参照地下水质量标准(GB/T 14848—1993),并选取主要富营养化指标对 3 类样

地进行统计分析,将生态模式变化对地下水的影响程度分为3个等级,其中以高复种指数的农作区的第二类型和第三类型部分指标超Ⅱ、Ⅲ类水体标准,水体受到了污染的影响。

(3)喀斯特山区土地农业利用后,由于耕作强度和施肥量的增大,土壤质量发生改变。在其特殊的二元水文结构下,地表和地下水质量均受到影响,特别是浅层地下水更易受到污染。因此,对喀斯特地区农业进行有效管理和生态治理,防治农业面源污染是必要的。

参考文献:

- [1] 苏跃,刘方,李航,等.喀斯特山区不同土地利用方式下土壤质量变化及其对水环境的影响[J].水土保持学报,2008,22(1):65-68.
SU Y, LIU F, LI H, et al. Effects of land-use patterns on soil and environmental water quality in Karst hilly areas [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(1):65-68.
- [2] 刘方,王世杰,刘元生,等.喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J].生态学报,2005,25(3):639-644.
LIU F, WANG S J, LIU Y S, et al. Changes of soil quality in the process of karst rocky desertification and evaluation of impact on ecological environment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3):639-644.
- [3] Guo H M, Wang Y X. Geochemical characteristics of shallow groundwater in Datong basin, Northwestern China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2005, 87.
- [4] 钱家忠,汪家权,吴剑锋.洛塔徐州张集水源地裂隙岩溶水化学特征及影响因素[J].环境科学研究,2003,16(2):23-26.
QIAN J Z, WANG J Q, WU J F, et al. The distributing characteristics of chemical components of fracture-karst groundwater and their causes in Zhangji Well Field in Xuzhou City [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2003, 16(2):23-26.
- [5] Zemeckis R M, Lazauskas S G, Gorton M T. The Europeanisation of agri-environmental policy: A case study of water quality in the Lithuanian karst zone[J]. *Land Use Policy*, 2005, 22(3):255-264.
- [6] 梁小平,朱志伟,梁彬.湖南洛塔表层岩溶带水文地球化学特征初步分析[J].中国岩溶,2003,22(2):103-109.
LIANG X P, ZHU Z W, LIANG B. Preliminary analysis on hydrogeochemical characteristics of the epikarst zone in Luota, Hunan[J]. *Carsologica Sinica*, 2003, 22(2):103-109.
- [7] 廖婧琳,苏跃,李航,等.喀斯特山区不同复种指数条件下的土壤质量变化——以普定县猫洞小流域为例[J].中国岩溶,2009,28(3):308-312(3):109-120.
LIAO J L, SU Y, LI H, et al. Effects of farming behaviorss on soil quality in Small Karst Basin [J]. *Carsologica Sinica*, 2009, 28(3):308-312(3):109-120.
- [8] 鲁如坤.土壤农业化学分析法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:107-240.
LU R K. The analytical methods for soil and agrochemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000:107-240.