

文章编号:1001-4810(2013)02-0133-07

农业活动对表层岩溶泉水化学特征 及溶解无机碳损失量的影响

张笑微,徐尚全,周小萍

(西南大学地理科学学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆400715)

摘要:以重庆市南川区不同农业活动强度下的3个表层岩溶泉为例,通过分析泉点水化学变化特征来估算不同泉点的DIC损失量(Δ DIC)和探讨农业活动对岩溶碳汇的影响。研究结果表明:柏树湾泉水温变幅较小,电导率、pH值相对兰花沟泉、后沟泉较低。由于农业活动的影响,兰花沟泉、后沟泉 Ca^{2+} 浓度偏高,而 HCO_3^- 浓度偏低。 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 浓度也因农业活动干扰,表现出后沟泉、兰花沟泉远大于柏树湾泉。随农业活动强度的增加, Δ DIC也逐渐增大,表现为:柏树湾泉(1.64 mmol/L) $<$ 兰花沟泉(4.28 mmol/L) $<$ 后沟泉(4.36 mmol/L)。 Δ DIC与($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$)呈正相关,表明农业活动越强烈,DIC损失量越大,岩溶碳汇的损失也随之增大。

关键词:农业活动;水化学特征;DIC损失量;岩溶碳汇;重庆南川

中图分类号:P641.3

文献标识码:A

在我国西南岩溶区,地下水常以泉点的形式出露地表,它们中多数属于裂隙—管道型岩溶水,受降雨直接补给,具有循环更新快、动态变化大、埋藏深度浅的特点^[1]。表层岩溶泉流量虽然不大,但对于地下水位深埋,地表缺水的岩溶区具有重要的供水意义^[2]。岩溶地区管道、裂隙等岩溶含水介质发育,形成了地表、地下“双层结构空间体系”^[3],雨水、地表水、地下水之间转化迅速^[4-5],对环境变化反应十分敏感^[6-8]。而且岩溶区土壤发育缓慢,地表土层很薄甚至缺失,农业活动中产生的污染物质易通过裂隙、管道进入岩溶地下水系统,造成地下水水质恶化,使本来就面临水量上缺水的岩溶山区又面临水质性缺水。此外,农业活动过程中大量施用化肥,尤其是氮肥会释放出 NH_4^+ , NH_4^+ 在硝化作用下产生硝酸,这部分酸在进入岩溶系统后会先于碳酸参与碳酸盐岩的溶蚀过程,造成岩溶系统的 HCO_3^- 淋出量减少^[9], Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子淋出量增多,在一定程度上减弱了岩溶碳汇效应^[10]。农业活动不仅会产生硝酸,也会

产生硫酸影响碳酸盐岩的溶蚀。本文以重庆市南川区不同农业活动强度下的3个泉点为例,通过分析泉点各离子浓度的变化特征、溶解无机碳损失量(Δ DIC)变化及与农业活动的关系,探讨农业活动对表层岩溶泉水化学变化的干扰,农业活动对岩溶碳汇的影响。

1 研究区概况

研究区位于重庆市南川区境内(图1),地处大娄山脉西北侧,地理坐标为 $28^{\circ}46' \sim 29^{\circ}30' \text{N}$, $106^{\circ}54' \sim 107^{\circ}27' \text{E}$ 。区内多云雾、少日照,年均气温 16.6°C ,年均降雨量 $1\,185\text{ mm}$,属亚热带湿润季风气候。研究区碳酸盐岩面积占总土地面积的 37.5% ^[11],石漠化严重,经济相对落后,产业活动以农业为主。本次研究选取的柏树湾泉、兰花沟泉、后沟泉是不同农业活动强度下具有代表性的3个泉点,泉点均发育于夹含黄铁矿泥质灰岩的下三叠统嘉陵江组白云质灰

基金项目:国家自然科学基金项目(41072192、41103068)、重庆市科委院士专项(CSTS、2010BC7004)、中国地质调查局项目(1212011087119)、重庆市国土房管局科技项目、西南大学博士基金项目(SWU111009)

第一作者简介:张笑微(1988-),女,硕士研究生,主要研究方向为岩溶学与环境变化。E-mail:zhangxiaowei229@163.com。

收稿日期:2012-11-30

泉(569.31 $\mu\text{S}/\text{cm}$) < 兰花沟泉(697.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$) < 后沟泉(706.58 $\mu\text{S}/\text{cm}$)。柏树湾泉与兰花沟泉、后沟泉水温变幅、电导率差异较大,其原因是后两个泉点受农业活动影响较大,农业活动造成地表植被覆盖减少,植被对泉水水温的调节功能减弱,泉水温度受太阳辐射影响大而呈现出较大的变幅^[13]。另外,农业活动使得流域水土流失加剧,农药化肥的使用一方面直接向岩溶系统中输入 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 等离子,另一方面大量 NH_4^+ 在土壤微生物硝化作用下会产生硝酸溶蚀碳酸盐岩,使岩溶系统淋漓出更多的金属阳离子,使泉水电导率升高。

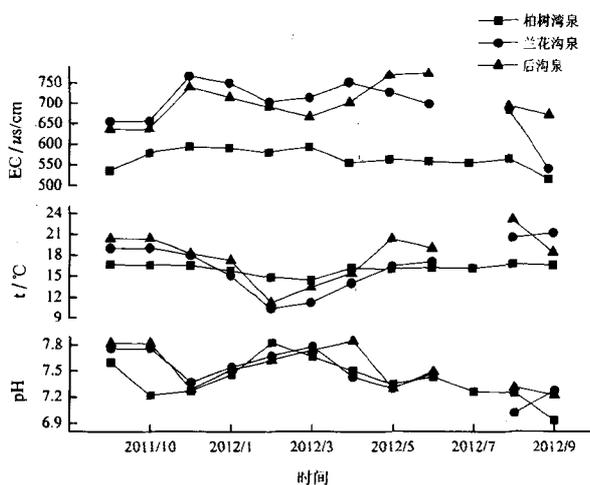


图 2 研究区泉水水温、pH 值与电导率变化图

Fig. 2 Variations in temperature, pH and EC in the spring water

3.1.2 泉水 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的变化特征

通常,岩溶水中的 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 主要来自于岩溶作用^[14]。柏树湾泉、兰花沟泉和后沟泉的阳离子均以 Ca^{2+} 为主,所占比例分别为 92.37%、86.79%、94.46%,表明研究区 3 个泉点水化学主要受碳酸盐岩溶蚀控制。柏树湾泉 Ca^{2+} 浓度(图 3)为 3 个泉点中最低(125.8 mg/L),兰花沟泉次之(138.4 mg/L),后沟泉最高(148.1 mg/L)。柏树湾泉 Ca^{2+} 浓度旱季(128.3 mg/L)稍高于雨季(121.3 mg/L);而兰花沟泉 Ca^{2+} 浓度雨季为 140.4 mg/L,旱季为 136.7 mg/L,后沟泉 Ca^{2+} 浓度雨季为 153.4 mg/L,旱季为 143.6 mg/L,两泉点 Ca^{2+} 浓度都为雨季高于旱季,并且兰花沟泉、后沟泉 Ca^{2+} 浓度都在 4 月份出现突升,5 月份达到年内最高值,分别为 160 mg/L、161 mg/L。原因是兰花沟泉、后沟泉上覆为农业用地,每年 4 月进入当地的农耕期,此时大量化肥施入农田, NH_4^+ 在土壤中积累,在硝化作用下会产生硝酸溶蚀碳酸盐岩。此外,重庆为重酸雨区^[15],加之当地使用的肥料中有含硫氮肥(硫酸铵),增强了水对碳酸盐岩

的溶蚀,故而使岩溶系统 Ca^{2+} 淋出量增多。

3 个泉点 HCO_3^- 浓度为柏树湾泉(332.45 mg/L) > 兰花沟泉(235.13 mg/L) > 后沟泉(203.52 mg/L)。柏树湾泉 HCO_3^- 浓度比兰花沟泉高 41.39%,比后沟泉高 63.66%,兰花沟泉 HCO_3^- 浓度比后沟泉高 15.75%。可见,随农业活动影响加强,地表植被覆盖减少,生物活动减弱, CO_2 来源和有机酸分泌减少,导致泉水中 HCO_3^- 浓度降低。对比 3 个泉点的 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度发现,后沟泉、兰花沟泉的 Ca^{2+} 浓度偏高,而 HCO_3^- 浓度却相对偏低。在无干扰的情况下,碳酸溶蚀碳酸盐岩过程中,输出的 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度应成比例的增加或减少。兰花沟泉和后沟泉出现的 Ca^{2+} 浓度高和 HCO_3^- 浓度低的现象表明在两泉域碳酸盐岩溶蚀过程中有另外的非碳酸类溶蚀营力参与;一种可能是硝酸,因为两泉域旱地耕作中施用的都主要是氮肥,氮肥溶解进入岩溶水后,将产生的大量 NH_4^+ ,经硝化作用下 NH_4^+ 会生成硝酸而对碳酸盐岩产生溶蚀,这一过程中不产生 HCO_3^- ,但是仍会淋漓出 Ca^{2+} ^[9];另一种可能是硫酸,两泉域内的酸雨沉降、含硫化肥施用、地层中黄铁矿氧化等均可成为水中硫酸的来源,碳酸盐岩溶蚀时因硫酸的参与也将改变岩溶系统中输出的 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度比率。

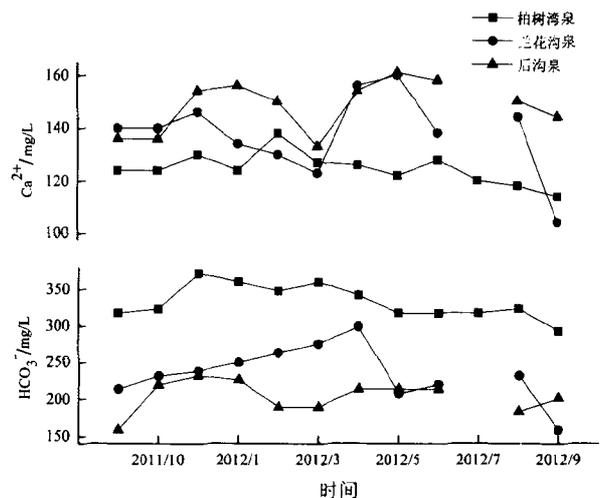


图 3 研究区泉水 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度变化图

Fig. 3 Variations in the concentrations of Ca^{2+} and HCO_3^- in the spring water

3.1.3 泉水其它离子变化特征

从图 4 可看出,泉水中 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 都表现为后沟泉 > 兰花沟泉 > 柏树湾泉。3 个泉点 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 差异较小,但 NO_3^- 差异很大。后沟泉 NO_3^- 浓度范围为 68.14 ~ 90.75 mg/L,均值为 83.14 mg/L;兰花沟泉 NO_3^- 浓度范围为 17.92 ~ 30.21 mg/L,均值为 26.13 mg/L;柏树湾泉 NO_3^- 浓

度范围为 4.78 ~ 7.91 mg/L, 均值为 6.51 mg/L。后沟泉 NO_3^- 浓度是兰花沟泉的 3.18 倍, 是柏树湾泉的 12.78 倍, 兰花沟泉 NO_3^- 浓度则为柏树湾泉的 4.01 倍。地下水中的氮虽有天然来源, 但主要是化学肥料、农家肥、生活污水及生活垃圾等人为来源, 其中农业肥料是主要的污染源^[16]。兰花沟泉泉域及后沟泉泉域都有不同程度的农业活动, 由于碳铵、尿素等氮肥的输入, 引起土壤中 NH_4^+ 的升高, 在有氧环境下 NH_4^+ 会转化为 NO_3^- ^[17], 从而使泉水 NO_3^- 浓度升高。此外, 后沟泉泉域的耕地面积约为兰花沟泉泉域的 2.5 倍, 肥料施用量远远大于兰花沟泉泉域, 所以后沟泉的 NO_3^- 浓度也高于兰花沟泉, 更明显高于无肥料输入的柏树湾泉。3 泉点的 SO_4^{2-} 浓度都较高, 但兰花沟泉 (211.58 mg/L)、后沟泉 (171.5 mg/L) 远高于柏树湾泉 (66.3 mg/L)。酸性雨水为泉水提供了一定量的 SO_4^{2-} , 但地下水中硫酸盐的来源除大气降水外还包括石膏溶解、硫化物氧化及人为输入 (农业肥料、工矿废水)^[18]。3 个泉点所在的层位下三叠统嘉陵江组白云质灰岩均夹有含黄铁矿的泥质灰岩, 黄铁矿氧化也会释放出 SO_4^{2-} 。另外兰花沟泉、后沟泉泉域旱地施用的肥料中有硫酸铵, 作物只是吸收其中部分 NH_4^+ , SO_4^{2-} 除少部分被土壤固定外其余的会随降雨下渗至泉水中, 造成泉水 SO_4^{2-} 浓度升高。

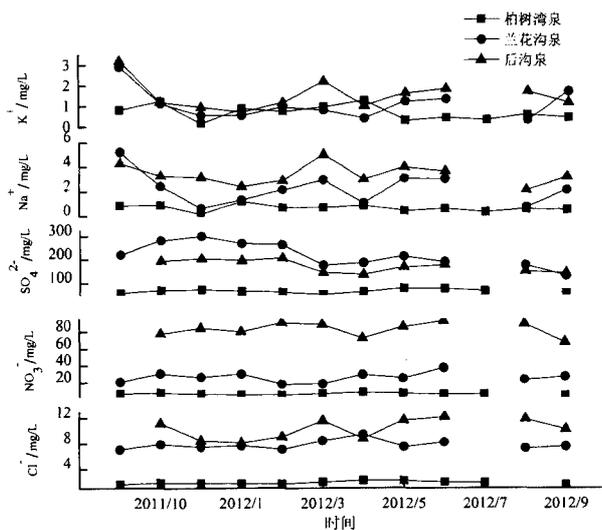


图 4 研究区 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 浓度变化图

Fig. 4 Variations in the concentrations of Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}

3.2 泉水中 DIC 损失量 (ΔDIC) 的变化

地下水中总的 DIC 由 H_2CO_3 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 组成^[19], DIC 的存在形态取决于地下水的 pH 值, 酸性水中 H_2CO_3 占优势, 碱性水中 CO_3^{2-} 占优势, 偏酸、偏碱及中性水中 HCO_3^- 占优势^[15]。柏树湾泉 pH

值范围为 6.93 ~ 7.82, 兰花沟泉 pH 值范围为 7.3 ~ 8.28, 后沟泉 pH 值范围为 7.22 ~ 7.84, 均呈中性偏弱碱性, 所以泉水的 DIC 主要以 HCO_3^- 形式存在。

地下水中 ΔDIC ^[9,20] 表示的是水中实测 $\text{DIC}_{\text{measured}}$ 与理论值 $\text{DIC}_{\text{theoretical}}$ 的差值, 可通过公式 (1) 计算出:

$$\Delta\text{DIC} = \text{DIC}_{\text{theoretical}} - \text{DIC}_{\text{measured}} \quad (\text{mmol/L}) \quad (1)$$

在天然地球化学场中, 碳酸盐岩化学风化在产生 2 mol DIC 的同时, 还产生 1 mol ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), 即 $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / \text{DIC} = 0.5$, 所以 $\text{DIC}_{\text{theoretical}}$ 可由泉水中实际测量的 $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 值计算得出, 即: $\text{DIC}_{\text{theoretical}} = 2(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ ^[9]。由 3 个泉点一年的水化学数据计算得出, 柏树湾泉的 ΔDIC 范围为 1.18 ~ 2.19 mmol/L, 均值为 1.64 mmol/L; 兰花沟泉的 ΔDIC 范围为 3.7 ~ 4.96 mmol/L, 均值为 4.28 mmol/L; 后沟泉的 ΔDIC 范围为 3.56 ~ 4.86 mmol/L, 均值为 4.36 mmol/L, ΔDIC 整体上表现为后沟泉 > 兰花沟泉 > 柏树湾泉 (图 5), 后沟泉的 ΔDIC 比兰花沟泉的 ΔDIC 高 1.83%, 差异较小, 但比柏树湾泉高 62.39%, 这一现象可能与 3 个泉点的农业活动强度有关。

由水化学结果分析可知, 农业活动影响下 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$) 的增幅最明显, 所以可用 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$) 作为农业活动强度的指标。进一步分析 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$) 与 ΔDIC 的关系, 结果显示: 柏树湾泉水中 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$) 浓度很低, ΔDIC 量与 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$) 的关系微弱。柏树湾泉域几乎无农业活动, 泉水中 ΔDIC 较低可能是大气降雨 (酸雨)、植物根系和微生物产生的少量的酸溶蚀碳酸盐岩的结果。兰花沟泉和后沟泉的 ΔDIC 都偏高, 且 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$) 表现出与 ΔDIC 相同的变化趋势。

前已述及, 泉水中 SO_4^{2-} 与 NO_3^- 除来源于地层外, 很大程度上来源于人类活动^[18]。兰花沟泉、后沟泉泉域主要的人类活动为农业生产, 水中 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$) 浓度较高, 所以两泉点 ΔDIC 的升高与农业活动有一定关系。Laure^[10] 等通过土柱实验研究表明, 农业化肥的使用会增加土壤淋滴液中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等的含量, 并估算出每年由于农业施肥导致全世界岩溶系统中 (Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 的淋出量增加了 5.7×10^{12} mol, 可见农业活动尤其化肥的使用, 对地下水中离子浓度的影响是不可忽视的。Perrin^[9] 等对法国西南部岩溶农业区的研究表明, 岩溶农业区地下水 HCO_3^- 浓度较低, 其原因可能是岩溶系统中的

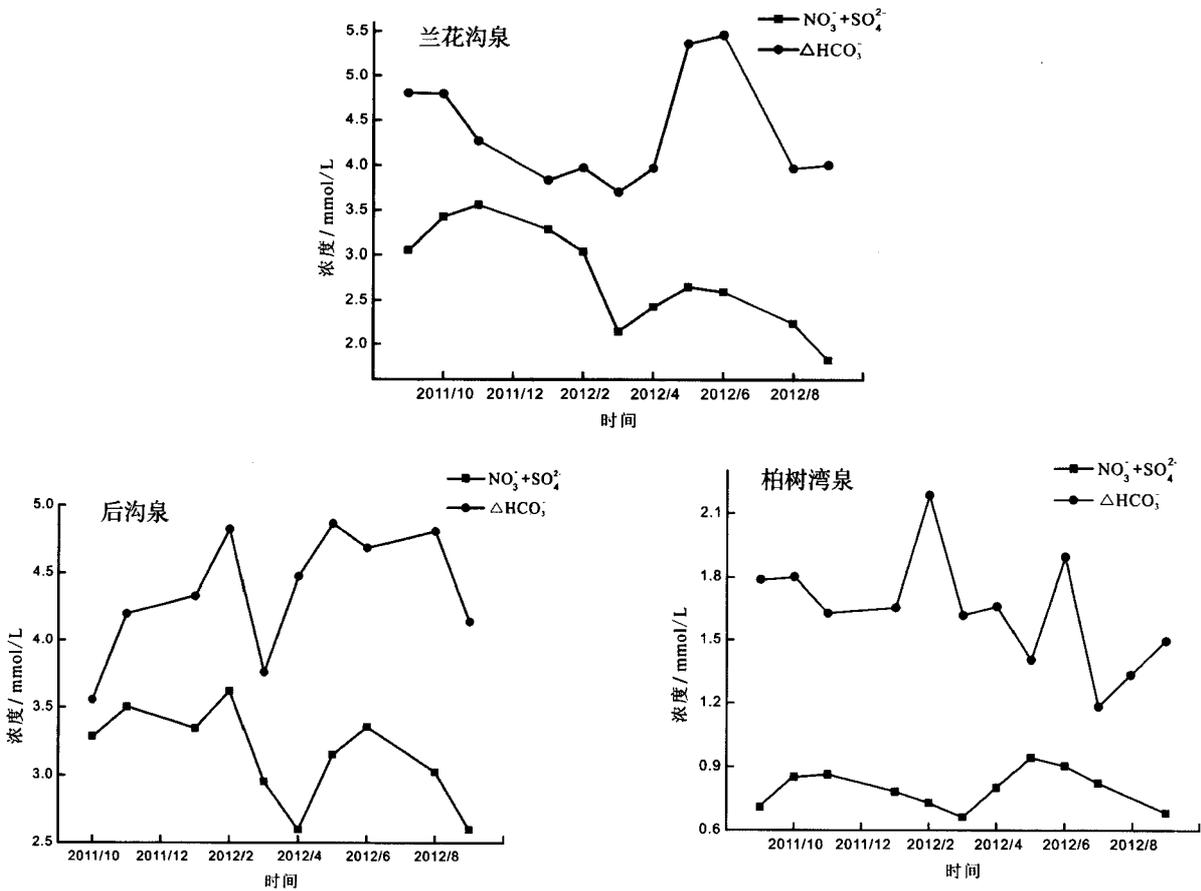


图 5 研究区不同泉点 Δ DIC 与 $(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ 关系图

Fig. 5 Relationship between Δ DIC and $(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ in different springs

碳酸被施肥产生的其它的酸所替代。兰花沟泉、后沟泉泉域均分布有旱地,大量化肥(尿素、碳铵、硫酸铵等)的施用使岩溶地下水系统中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的输出量增加,DIC 的输出量减少,进而导致 Δ DIC 偏高。

岩溶作用的碳汇效应是碳酸盐岩风化过程中吸收大气/土壤 CO_2 ,并将其以 DIC 的形式封存于地下水中的表现^[21],DIC 浓度越低表示碳酸盐岩碳汇效

应越弱, Δ DIC 越高则表示岩溶碳汇量越小。柏树湾泉到兰花沟泉到后沟泉,农业活动干扰逐步增强,DIC 浓度逐渐降低, Δ DIC 逐渐升高(表 2),表明随农业干扰的增强,岩溶碳汇效应逐步减弱,岩溶碳汇损失量逐步增大。在遭受全球变暖威胁的今天,岩溶区应退耕还林,保持良好的生态环境,以增加岩溶作用的碳汇效应。

表 2 各泉点 DIC 损失量数据 (mmol/L)

Table 2 Data of DIC leakage (mmol/L) in different springs

时间	柏树湾泉					兰花沟泉					后沟泉				
	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{DIC}_{\text{theoretical}}$	Δ DIC	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{DIC}_{\text{theoretical}}$	Δ DIC	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{DIC}_{\text{theoretical}}$	Δ DIC
2011/9	5.20	3.10	0.39	6.99	1.79	3.50	3.50	0.65	8.30	4.80	—	—	—	—	—
2011/10	5.30	3.10	0.45	7.10	1.80	3.80	3.50	0.80	8.59	4.79	3.60	3.40	0.18	7.16	3.56
2011/11	5.90	3.25	0.51	7.53	1.63	3.90	3.65	0.43	8.17	4.27	3.80	3.85	0.15	8.00	4.20
2011/12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2012/1	5.90	3.10	0.68	7.56	1.66	4.10	3.35	0.62	7.93	3.83	3.70	3.90	0.12	8.03	4.33
2012/2	5.70	3.45	0.49	7.89	2.19	4.30	3.25	0.89	8.27	3.97	3.10	3.75	0.21	7.92	4.82
2012/3	5.90	3.25	0.51	7.52	1.62	4.50	3.25	0.85	8.20	3.70	3.10	3.25	0.18	6.86	3.76

续表 2

时间	柏树湾泉					兰花沟泉					后沟泉				
	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	DIC _{theoretical}	ΔDIC	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	DIC _{theoretical}	ΔDIC	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	DIC _{theoretical}	ΔDIC
2012/4	5.60	3.15	0.48	7.26	1.66	4.90	3.90	0.53	8.87	3.97	3.50	3.85	0.14	7.97	4.47
2012/5	5.20	3.05	0.25	6.60	1.40	3.40	3.25	0.88	8.26	4.86	3.50	4.03	0.16	8.36	4.86
2012/6	5.20	3.20	0.35	7.09	1.89	3.60	3.45	0.83	8.56	4.96	3.50	3.95	0.14	8.19	4.69
2012/7	5.20	3.00	0.19	6.38	1.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2012/8	5.30	2.95	0.37	6.63	1.33	3.80	3.60	0.28	7.76	3.96	3.00	3.75	0.15	7.81	4.81
2012/9	4.80	2.85	0.30	6.29	1.49	2.60	2.60	0.70	6.60	4.00	3.30	3.60	0.12	7.44	4.14

4 结论

(1) 农业活动对表层岩溶泉水化学特征影响很大: ① 无农业活动的柏树湾泉水温变幅较小, pH 值、电导率都相对兰花沟泉、后沟泉较低; ② 由于农业活动干扰, 尤其是施肥, 使得硝酸、硫酸代替部分碳酸参与碳酸盐岩溶蚀, 使得兰花沟泉、后沟泉 Ca²⁺ 浓度偏高, HCO₃⁻ 浓度却偏低; ③ 农业活动影响下, 兰花沟泉、后沟泉的 NO₃⁻、SO₄²⁻ 浓度都高于柏树湾泉, 所以该两水化学指标可作为农业活动干扰岩溶地下水系统的重要指标。

(2) 研究区 3 个泉点 DIC 损失量(ΔDIC)后沟泉(4.36 mmol/L) > 兰花沟泉(4.28 mmol/L) > 柏树湾泉(1.64 mmol/L)。柏树湾泉的 ΔDIC 与(SO₄²⁻ + NO₃⁻) 变化无关, 而农业影响下的兰花沟泉、后沟泉 ΔDIC 与(SO₄²⁻ + NO₃⁻) 变化呈现相同趋势, 表明高 ΔDIC 与农业活动强度相关, 农业活动强度越大, DIC 损失量越大, 岩溶碳汇量越小。

致谢: 感谢徐尚全师兄在本文写作过程中的指导; 感谢周小萍、王晓晓、徐昕、陈雪彬在野外采样中的帮助; 感谢孙玉川老师在室内分析中的指导; 感谢评审专家、编辑老师对本文提出的宝贵意见!

参考文献

- [1] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988: 122-126.
- [2] 梁彬, 李兆林, 朱远峰. 洛塔岩溶生态系统可持续发展模式[J]. 中国岩溶, 2002, 21(4): 290-298.
- [3] 袁道先, 朱德浩, 翁金桃, 等. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-13.
- [4] Long A J. Hydrograph separation for karst watersheds using a two-domain rainfall-discharge model[J]. Journal of Hydrology, 2009, 364(3-4): 249-256.
- [5] 袁道先. 岩溶水不均匀性程度差异的产生条件[C]//中国地质学会第二届岩溶学术会议论文集选编辑组. 中国地质学会第二

届岩溶学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 1982: 77-85.

- [6] 袁道先, 刘再华, 林玉石, 等. 中国岩溶动力系统[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 6-10.
- [7] 袁道先. 岩溶作用对环境变化的敏感性及其记录[J]. 科学通报, 1995, 40(13): 1210-1213.
- [8] Yuan D X. Sensitivity of karst process to environmental change along the PEP II transect[J]. Quaternary International, 1997, 35: 105-113.
- [9] Perrin A S, Probst A, Probst J L. Impact of nitrogenous fertilizers on carbonate dissolutions in small agricultural catchments: Implications for weathering CO₂ uptake at regional and global scales[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2008, 72: 3105-3123.
- [10] Laure G, Anne S P, Anne P. Impact of nitrogenous fertilizer-induced proton release on cultivated soils with contrasting carbonate contents: A column experiment[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2011, 75: 1185-1198.
- [11] 郑红雷, 谢世友. 重庆市典型石漠化地区可持续发展对策——以重庆南川区为例[J]. 生态经济, 2009, (7): 78-81.
- [12] 林明珠. 不同土地覆被下表层岩溶带水文地球化学特征及其碳汇效应研究[D]. 西南大学博士学位论文, 2012: 82.
- [13] 李林立, 况明生, 张远瞩, 等. 典型表层岩溶泉水短时间尺度动态变化规律[J]. 水科学进展, 2006, 17(2): 222-226.
- [14] White WB. Geomorphology and hydrology of karst terrains [M]. New York: Oxford University Press, 1988.
- [15] 巴金, 汤洁, 王淑凤, 等. 重庆地区近 10 年酸雨时空分布和季节变化特征分析[J]. 气象, 2008, (9): 81-88.
- [16] 沈照理, 朱宛华, 钟佐桑. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 17-137.
- [17] 于乃琇, 李宽良, 韦漫春, 等. 三氮迁移转化过程中的质量不守恒问题及其数值模拟方法途径[J]. 成都地质学院学报, 1993, 20(3): 108-115.
- [18] 刘丛强, 蒋颖魁, 陶发祥, 等. 西南喀斯特流域碳酸盐岩的硫酸侵蚀与碳循环[J]. 地球化学, 2008, 37(4): 404-414.
- [19] 刘长礼, 张云, 宋超, 等. 施用农肥对岩溶溶蚀作用的影响及其生态环境意义[J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1395-1404.
- [20] 刘长礼, 林俊良, 宋超, 等. 土地利用变化对典型碳酸盐岩流域风化碳汇的影响——以云南小江岩溶流域研究为例[J]. 中国地质, 2011, 38(2): 479-488.
- [21] 刘再华, Wolfgang Dreybrodt, 王海静. 一种由全球水循环产生的可能重要的 CO₂ 汇[J]. 科学通报, 2007, 52(20): 2418-2422.

Influence of agricultural activity on hydro-chemical characteristics and dissolved inorganic carbon leakage in epi-karst springs

ZHANG Xiao-wei, XU Shang-quan, ZHOU Xiao-ping

(Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education

/School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: In this study, three epi-karst springs under different intensity agricultural activity in Nanchuan area, Chongqing have been investigated to discuss the impact of agricultural activity on karst carbon sink by analyzing hydro-chemical characteristics and estimating the Δ DIC of water samples in different springs. The results show that compared to the Lanhuagou spring and the Hougou spring, the amplitude of variation in temperature in the Baishuwan spring is relatively small; EC and pH are relatively low. Because of the impact of agriculture activity, the Lanhuagou spring and the Hougou spring have a higher Ca^{2+} concentration and lower HCO_3^- concentration that are not consistent with Ca^{2+} . The concentrations of NO_3^- and SO_4^{2-} in the Lanhuagou spring and the Hougou spring are far higher than that in the Baishuwan spring for the same reason. With the enhancement of agricultural activity, the Δ DIC increases as follows, 1.64 mmol/L in the Baishuwan spring < 4.28 mmol/L in the Lanhuagou spring < 4.36 mmol/L in the Hougou spring. The Δ DIC represents positive correlation with the concentration of $(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ among the three different springs. It can be inferred that the more intensity of agricultural activity, the larger amount of Δ DIC, which means the less amount of CO_2 sink.

Key words: agricultural activity; hydro-chemistry characteristic; DIC leakage; karst carbon sink; Nanchuan in Chongqing

(编辑 韦复才)