

# 旅游活动对黄龙风景区水质的影响:以 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 离子为例

张金流<sup>1,2</sup>, 尹必霞<sup>3</sup>, 王海静<sup>2</sup> (1. 合肥学院, 安徽合肥 230601; 2. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州贵阳 550002; 3. 巢湖市污水处理厂, 安徽巢湖 238000)

**摘要** 为了探索日益增强的旅游活动是否会对黄龙水质产生影响, 从2010年4月下旬到11月上旬, 以泉水中保守离子  $\text{Sr}^{2+}$  作为示踪剂, 采用野外自动监测、水样采集和室内分析相结合的方法, 对黄龙风景区溪流水中  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  等离子质量浓度做了一个旅游季节的监测; 结果表明, 在补给泉和相应景点间, 水中磷酸盐质量浓度变化趋势呈现明显的差异性, 且后者比前者均有所升高, 其年平均值在5个景点分别升高2.65、1.94、0.91、0.11和1.35倍, 而示踪剂  $\text{Sr}^{2+}$  离子质量浓度变化趋势则正好相反, 说明黄龙风景区溪流水中磷酸盐浓度已受到不同程度的外源污染; 进一步对比分析各景点磷酸盐、硝酸盐质量浓度与同期游客人数间的关系, 结果发现两者间变化趋势呈现明显的一致性; 为了排除偶然性因素影响, 笔者于2011年对水中磷酸盐质量浓度重新做了上述观测, 结果与2010年相似; 因此可以推断, 黄龙景区溪流水中磷酸盐、硝酸盐质量浓度已明显受到过度旅游活动的影响。

**关键词** 水质变化; 磷酸盐; 硝酸盐;  $\text{Sr}$ ; 旅游活动; 四川黄龙

**中图分类号** S273.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)23-09678-06

## Impact of Tourist Activities on Water Quality at the Huanglong Scenic Spote: A Case Study of $\text{PO}_4^{3-}$ and $\text{NO}_3^-$ Ion

ZHANG Jin-liu et al (Hefei University, Hefei, Anhui 230601)

**Abstract** To understand growing tourism activities whether has impact on Huanglong water quality, taking conservative ion  $\text{Sr}^{2+}$  in spring water as tracer, the authors used automatic logging and water sampling in field combined with laboratory analysis in the wet period of 2010 from late April to early November to study temporal variations in strontium, phosphate and nitrate concentration in stream water. The results showed that the phosphate mass concentration in spring water and stream water has obviously different change trend and the latter is higher than the former, which is 2.65, 1.94, 0.91, 0.11 and 1.35 times. Respectively, and the tracer ion  $\text{Sr}^{2+}$  mass concentration showed the opposite change trend, so it was concluded that the phosphate mass concentration must be influenced by other pollution source. Further compare on the relationship between phosphate, nitrate mass concentration in stream water and coeval tourist number and the same change trend was showed between them, and it was concluded that the phosphate, nitrate mass concentration in stream water has been influenced by the overburden tourism activities.

**Key words** Changes in water quality; Phosphate; Nitrate; Strontium; Tourism activities; Huanglong, Sichuan

与20世纪90年代相比,近年来前往黄龙风景区旅游的国内外游客迅速增长,游客人数从20世纪90年代年均约10万人增长到近年来年均100多万人,最高峰年游客人数达到近300万。为了研究快速增强的旅游活动是否会对黄龙水质产生影响,进而导致黄龙钙华景观的退化<sup>[1-7]</sup>,本课题组从2010年4月下旬到11月上旬对黄龙风景区沿途泉水及溪流水中  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  做了一个旅游季节的详细监测。研究选用  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  作为研究指标,是因为黄龙风景区溪流水中的  $\text{Sr}^{2+}$  主要来源于矿物溶解,与旅游活动所造成的污染无关或关系不强,因此可看作保守离子<sup>[8-9]</sup>(示踪剂<sup>[10-11]</sup>)。在相关研究<sup>[12-13]</sup>的基础上,通过其在补给泉水和相应景点间溪流水中质量浓度变化趋势分析,可进一步明确各景点溪流水主要补给源;对于磷酸盐和硝酸盐,它一方面可以作为营养盐,促进淡水藻类生长<sup>[2,14-24]</sup>,另一方面,磷酸盐通过占据钙华沉积晶格位点,能有效抑制钙华沉积<sup>[25-44]</sup>。因此,该研究必将对黄龙钙华景观近年来的退化现象及其机理研究起到促进作用;同时,由于冬季(11月~

次年4月)黄龙景区各景点无地表水流淌,故研究未做冬季相关水化学监测。

黄龙自然风景区位于四川省成都市西北约360 km的阿坝藏族羌族自治州松潘县境内,属于青藏高原东部边缘向四川盆地的过渡地带。黄龙沟主景区全长约3.5 km,南起望乡台,北至涪江河谷,海拔在3 100~3 600 m,钙华沉积物宽约250 m。从远处观看,整个景区就似一条黄色的蛟龙,故取名黄龙沟。黄龙沟泉水补给区岩层以泥盆-石炭系灰岩、白云岩为主<sup>[45]</sup>,为钙华景观的形成提供了丰富的钙源;景区内年均降雨量约759 mm,主要集中在5~10月,年均气温为1.1℃,属高寒岩溶区。雪宝顶是景区内最高峰,海拔5 588 m<sup>[46]</sup>,山顶终年积雪。黄龙沟地表溪流水主要由高山地表水(包含雨水和雪融水)、黄龙泉群(S1)和沿途3个大的二次转化泉(S2~S4)(长年泉,但冬季流量很小,对相应景点无泉水补给)和2个小的季节泉(S5~S6)补给<sup>[12-13]</sup>,这些泉水在流入相应景点后流量逐渐变小并在景点末端流失殆尽,完全渗漏进入地下与深层地下水混合,之后以二次转化泉的形式再次流出地表进入下一个二次转化段(亚系统),最后在迎宾池末端以地下水的形式流入涪江(图1)。

## 1 研究方法

**1.1  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  和  $\text{NO}_3^-$  水样的采集和室内分析** 每隔10 d左右,使用60 ml注射器加含有0.45 μm玻璃纤维过滤器采集监测点水样(包含高山地表水样、6处泉水样及6处景点溪流样,采样点见图1),盛于60 ml聚乙烯瓶中并定期送回中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实

**基金项目** 中科院“百人计划”项目(2006-067);国家自然科学基金项目(40872168);合肥学院人才项目(13RC04)。

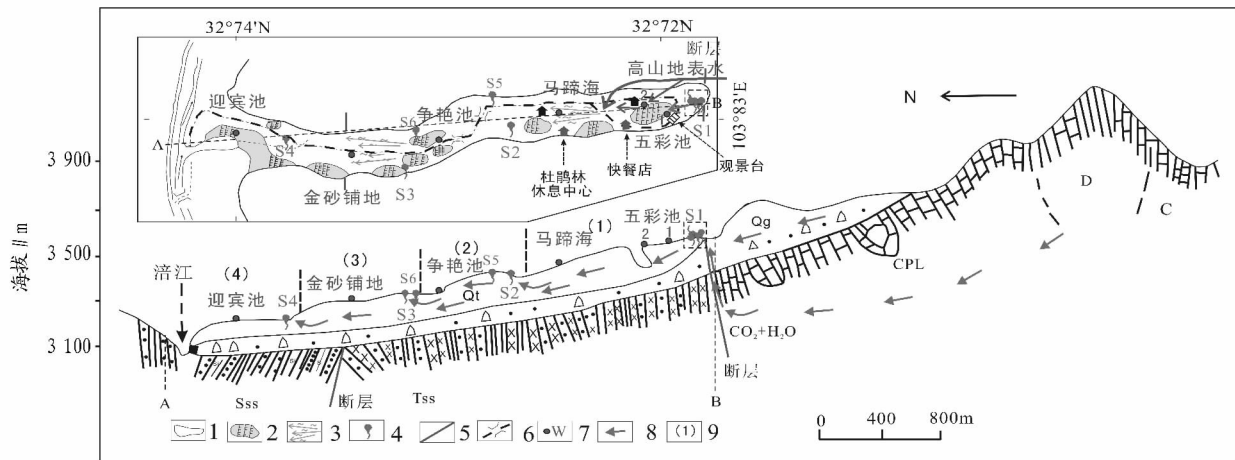
**作者简介** 张金流(1974-),男,安徽合肥人,讲师,博士,从事环境地球化学研究,E-mail: zhanggolden@163.com。

**鸣谢** 本论文野外工作得到黄龙国家级风景区管理局的大力支持,室内分析测试工作得到中科院环境地球化学重点实验室的支持,特此致谢。

**收稿日期** 2013-07-11

实验室,分别用等离子光谱(ICP-OES)和离子色谱仪(美国 Dionex 公司产的 ICS-90 型离子色谱仪)分析水中  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  的质量浓度,其检测限是 0.001 mg/L;取样时采样瓶先用现场水润洗 3 次,之后将整个瓶子装满,使瓶中不留有气

泡。用于分析  $\text{Sr}^{2+}$  质量浓度的样品,在现场需滴加 2~3 滴浓硝酸,使水样酸化至 pH 在 1~2;采样瓶在采集样品前在室内用 1:10 的硝酸浸泡 24 h,随后用超纯水冲洗之后再用超纯水浸泡 48 h,之后放入烘箱中于 50 °C 条件下烘 24 h。



注:1. 钙华景观边界;2. 边石坝和钙华彩池;3. 滩流;4. 泉水采样样点;5. 断层;6. 游览路径;7. 池水采样样点;8. 地下水流向;9. 亚系统编号。  
Ql/Qg: 第四系钙华/冰碛砂及砾石;Tss: 三叠系凝灰质砂岩、板岩和千枚岩;CPL: 石炭-二叠系灰岩;D: 泥盆系板岩夹灰岩;Sss: 志留系硅质板岩夹砂岩;C: 石炭系灰岩。

图1 黄龙风景区地质平面及剖面图以及泉、采样点示意

**1.2 降雨量的自动监测** 降雨量使用安装于涪湫湖边上的美国产 HOBO 便携式小型气象站自动记录,该仪器降雨量的测试范围为 0~12.7 cm/h,分辨率为 0.2 mm;数据采集器的扫描时间间隔设定为 15 min。

## 2 结果与讨论

**2.1  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  质量浓度的时间变化** 根据文献<sup>[12-13]</sup>的研究,把黄龙风景区分成 4 个亚系统(或 4 个转化段)(图 1),并分别采样分析每个亚系统中相应景点及其补给泉水中  $\text{Sr}^{2+}$  和  $\text{PO}_4^{3-}$  质量浓度;各亚系统所得结果类似。为了简化说明,以黄龙风景区上游五彩池 1(五彩池 1 号采样点)、马蹄海以及下游的迎宾池采样点为例,来说明溪流水中  $\text{Sr}^{2+}$  和  $\text{PO}_4^{3-}$  质量浓度时间变化规律(图 2~图 4)。

从图 2 可以明显看出,黄龙风景区马蹄海和地表水、五彩池 1 和黄龙泉水中  $\text{Sr}^{2+}$  质量浓度变化规律呈现明显的一致性且数值大小无明显变化,说明马蹄海、五彩池 1 号监测点 2 处溪流水除了分别受地表水、黄龙泉补给外,并无其他固定外源水(地下水或地表水)补给,从而也进一步证明了文献<sup>[12]</sup>关于黄龙景区水循环系统研究的结论,同时也排除了随同其他外源水来源磷酸盐的可能性。因此可以假设:如果黄龙风景区各景点溪流水中磷酸盐也仅仅来自其补给泉,而未受其他外源污染物污染,那么,马蹄海、五彩池 1 号监测点 2 处水中磷酸盐质量浓度变化趋势理应与其补给泉水相一致且数值相似,然而,监测结果并非如此(图 3)。

由图 3 可知,五彩池 1 号监测点、马蹄海 2 处水中磷酸盐质量浓度变化趋势与其补给泉水并不一致,且两处景点溪流水中磷酸盐质量浓度明显有增大的趋势,而五彩池 1、马蹄海采样点间磷酸盐质量浓度变化趋势则表现出相似性,因此

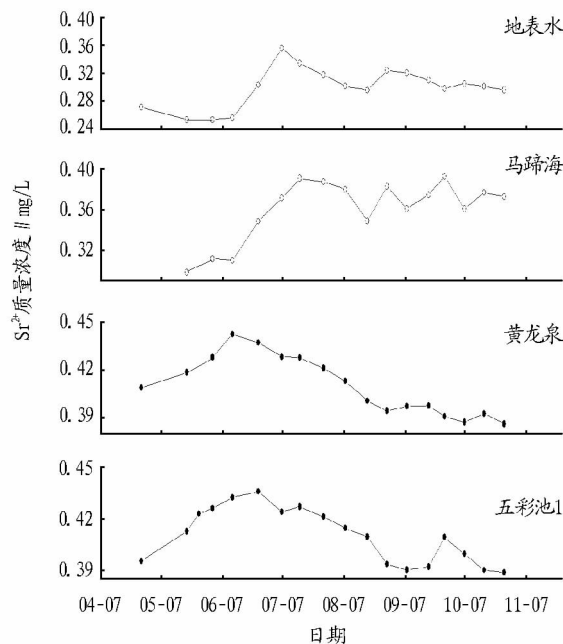


图2 2010年五彩池1、马蹄海采样点溪流水  $\text{Sr}^{2+}$  质量浓度的时间变化

可以肯定,除了补给泉供给外,黄龙风景区溪流水磷酸盐必定受到其他外源污染源污染,这一推论从景区沿途各景点溪流水及其补给泉水中磷酸盐含量的年平均值也可得到初步验证,见图 4。

由图 4 可知,在黄龙风景区所划分的 4 个亚系统中,各景点溪流水中磷酸盐年平均质量浓度都比相应补给泉水中磷酸盐质量浓度有所升高(分别升高了 2.65、1.94、0.91、0.11 和 1.35 倍),再次证明各景点溪流水中磷酸盐质量浓度

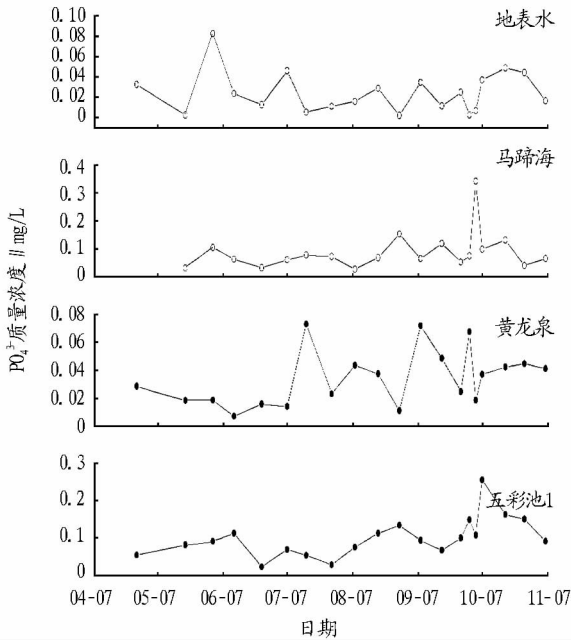


图3 2010年五彩池1、马蹄海采样点溪流水  $PO_4^{3-}$  质量浓度的时间变化

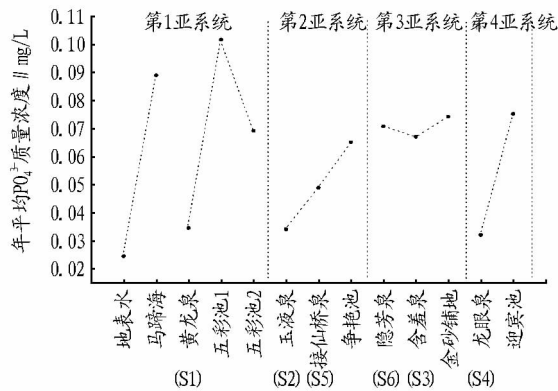


图4 2010年黄龙风景区沿途各采样点溪流水中  $PO_4^{3-}$  质量浓度年平均值

已受到其他外源污染物影响。

同时,由图4也可看到,黄龙风景区上游五彩池1号监测点处磷酸盐质量浓度反而比下游迎宾池处高,这是因为五彩池是黄龙风景区游人最集中的景点,邻近景区饭店(杜鹃林休息中心和快餐店),且1号采样点又位于游人集中的观景台下,因此很容易受到游客生活垃圾污染(水中磷酸盐主要来自旅游活动产生的生活垃圾);而迎宾池景点相对于五彩池是一个独立的亚系统,其溪流水并不直接来自景区上游的五彩池,而是由龙眼泉补给(图1中的S4),因此其水中磷酸盐质量浓度并不直接受五彩池中磷酸盐质量浓度影响,而主要与迎宾池景点附近污染源有关。而五彩池2号采样点磷酸盐质量浓度之所以比1号采样点有所下降,是因为2号采样点处部分受到含磷酸盐质量浓度极低的高山地表水补给(图1),稀释了来自1号监测点池水中磷酸盐质量浓度;第3亚系统中的含羞泉(S3)、隐芳泉(S6)的磷酸盐质量浓度相对于其他泉水较高,是因为这2个补给泉紧邻争艳池

景点末端,其泉水直接由争艳池池水补给,因此,水中磷酸盐质量浓度也明显受其影响,与争艳池池水中磷酸盐质量浓度数值相似。

另外,由图5可知,各采样点  $Sr^{2+}$  年平均质量浓度并没有出现与  $PO_4^{3-}$  相似的变化趋势,这是因为,从补给泉到相应景点,随着钙华的沉积,  $Sr^{2+}$  和  $Ca^{2+}$  一起沉积进入钙华中,降低了水中  $Sr^{2+}$  离子质量浓度。需要说明的是,在图5中,马蹄海处  $Sr^{2+}$  质量浓度比地表水高,同样是因为马蹄海处溪流水由地表水和五彩池池水共同补给,接受了部分高  $Sr^{2+}$  五彩池池水的结果。

同时,由图5也可看到,第3亚系统各采样点水中  $Sr^{2+}$  质量浓度比第2亚系统各采样点要低,这同样是因为隐芳泉(S6)、含羞泉(S3)直接受争艳池补给(同  $PO_4^{3-}$  分析),部分  $Sr^{2+}$  已沉积进入钙华的结果;而第4亚系统龙眼泉水中  $Sr^{2+}$  质量浓度比黄龙泉还高,这是因为此处有一大的地质断层,很可能是受到含高浓度  $Sr^{2+}$  深层地下水影响的结果。

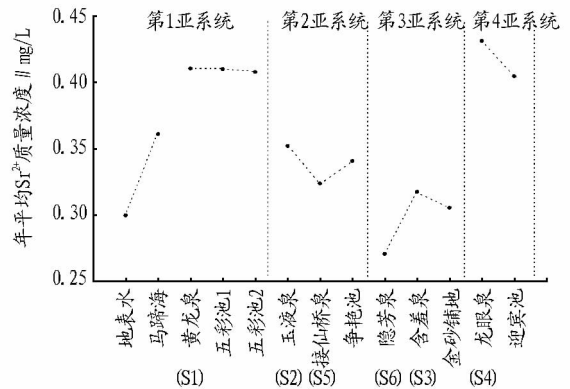


图5 2010年黄龙风景区沿途各采样点溪流水中  $Sr^{2+}$  质量浓度年平均值

黄龙风景区下游迎宾池及其补给泉龙眼泉水中  $Sr^{2+}$  质量浓度变化趋势与上述两景点所述情况类似,因此,就溪流水补给来说,龙眼泉是迎宾池主要补给源,在此不再赘述(图6);需要补充说明的是,龙眼泉和迎宾池2号采样点水中磷酸盐质量浓度变化趋势也表现出一定的相似性,这与图3中所述的补给泉与相应景点间的情况正好相反,表面看似迎宾池水中磷酸盐直接来自龙眼泉(即并无其他污染源),但从图4、图6也可看到,迎宾池水中磷酸盐质量浓度比龙眼泉水中磷酸盐质量浓度明显升高。由此可知,迎宾池溪流水中磷酸盐除了受龙眼泉补给外,也同样受到其他污染源影响;龙眼泉和迎宾池水中磷酸盐质量浓度变化趋势之所以表现出一定的相似性,是因为龙眼泉紧邻第3亚系统金砂铺地景点末端,其泉水部分来自金砂铺地地表溪流水的流入,因此,龙眼泉水中的磷质量浓度也部分受控于来自金砂铺地溪流水中磷;由于金砂铺地、迎宾池2号景点溪流水中磷主要来源于旅游活动这一同样因素造成的污染,因此龙眼泉水中磷质量浓度变化趋势也与迎宾池一样,两者间表现出一定的相似性。

**2.2 水中磷酸盐质量浓度与游客人数间的关系** 相对于各景点补给泉,黄龙风景区各景点溪流水中磷酸盐质量浓度明

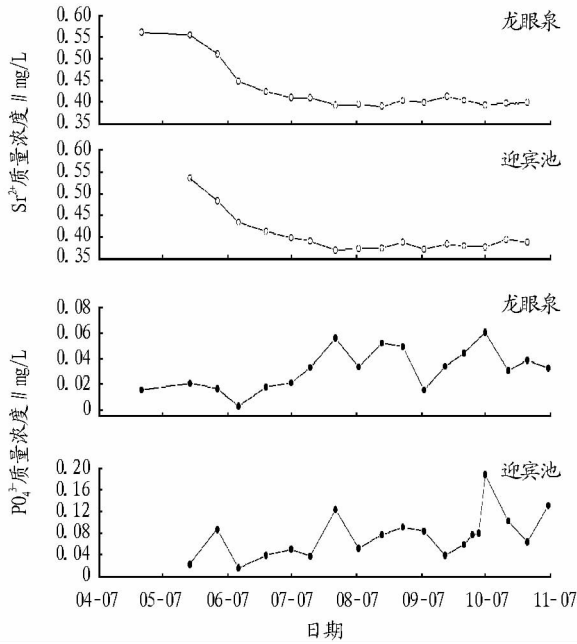


图 6 2010 年迎宾池溪流水中  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  质量浓度的时间变化

显受到外来污染物的影响;如前所述,随着交通等基础设施的改善和人们生活水平的不断提高,近年来前往黄龙风景区游览的国内外游客迅速增长,那么,为了探索外来污染物与迅速增强的旅游活动的相关性(如旅游及其相关活动在景区产生大量的生活垃圾,主要污染源有景区饭店、为数众多的厕所和垃圾桶中的污水渗漏),以五彩池 1 和迎宾池 2 处采样点为例,分析水中磷酸盐浓度与同期游客人数、降雨量间的关系,结果见图 7。

由图 7 可知,五彩池 1 号采样点处水中磷酸盐质量浓度与游客人数呈现明显的正相关变化趋势,例如,与游客人数 4 个峰值(图中分别由 4 个向下的箭头所指示)相对应,水中磷酸盐质量浓度也相应呈现出 4 个峰值,因此可以推断,旅游等人类活动产生的生活垃圾很可能就是导致黄龙景区溪流水中磷酸盐质量浓度变化的外来污染物。

同时,由图 7 可知,水中磷酸盐质量浓度变化往往滞后于游客人数的变化,具体原因分析参见文献<sup>[2]</sup>,在此不再赘述。

因此,黄龙风景区溪流水中的磷酸盐很可能来源于旅游等人为活动产生的生活垃圾,其质量浓度变化受控于旅游活动的强弱和降雨的稀释作用,是两者共同作用的结果。

### 2.3 水中硝酸盐质量浓度与游客人数间的关系

为了进一步明确旅游活动是否对黄龙水质已造成影响,笔者再次对比分析了水中硝酸盐质量浓度与同期游客人数间的关系,仍以五彩池 1 和迎宾池采样点为例,结果见图 8。

从图 8 可以明显看出,在人为划分的 5 个时段(由图中 4 条垂直虚线分开),随着游客人数的增减,水中硝酸盐质量浓度呈现出同样的变化趋势;如从 6 月 25 日到 8 月 19 日,随着游客人数的先上升后下降,水中硝酸盐质量浓度也是相应地先上升后下降;再如 10 月 3 日,日游客人数达到全年的峰值,水中硝酸盐质量浓度也相应地出现峰值(不是全年最高

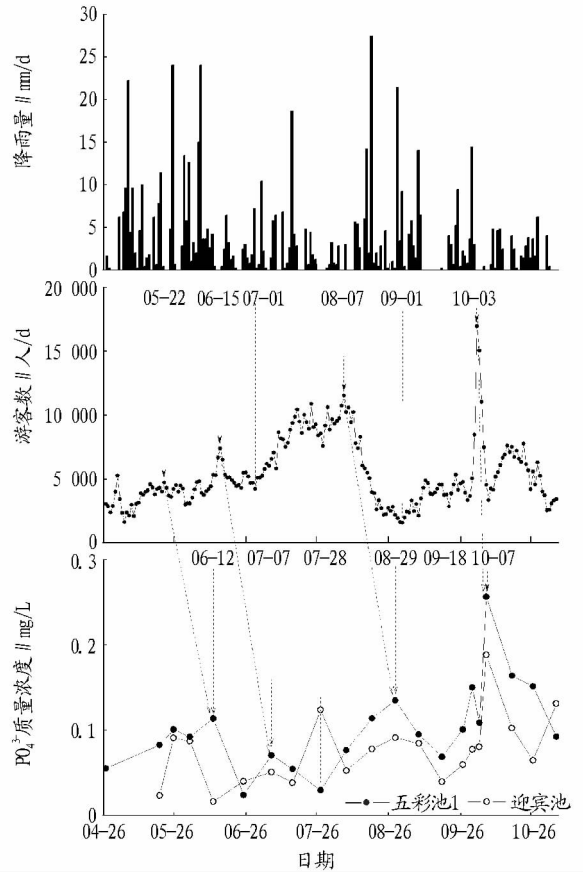


图 7 2010 年五彩池 1、迎宾池采样点处水中磷酸盐质量浓度的时间变化及其与游客人数、降雨量的关系

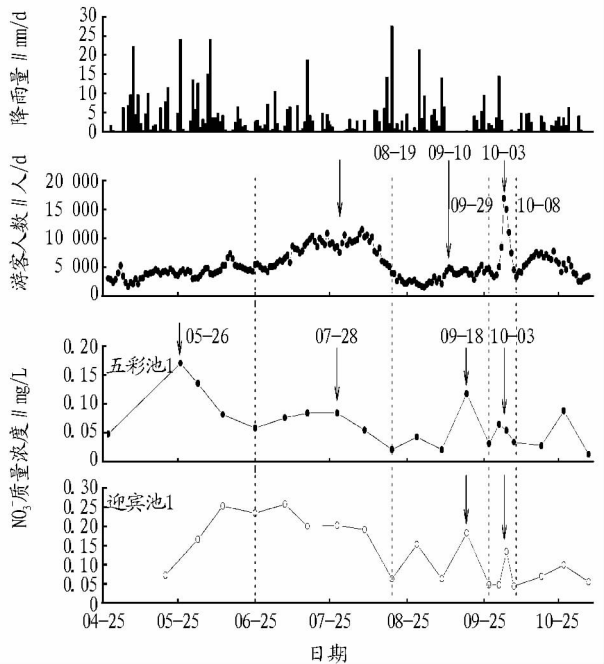


图 8 2010 年五彩池 1 采样点水中硝酸盐质量浓度的时间变化及其与游客人数、降雨量的关系

值,此点与磷酸盐质量浓度不一样,见图 7);据此同样可以推测,就硝酸盐质量浓度而言,黄龙风景区溪流水同样受到旅游活动的影响。

从图8也可以看出,水中硝酸盐质量浓度变化幅度与游客人数变化幅度间的关系并不完全一致,这可能是不同时段降雨对硝酸盐质量浓度稀释作用不完全一致的结果(比如当旅游活动和降雨稀释作用同时增强时,溪流水中硝酸盐质量浓度就不一定上升);同时,就有限的游客人数而言,旅游活动产生的生活垃圾量与游客人数也不一定完全成正比,自然游客人数与水体中硝酸盐质量浓度也不一定完全成正比。

另外也注意到,五彩池1号采样点水中硝酸盐浓度时间变化趋势没有出现“硝酸盐质量浓度时间变化趋势往往滞后于游客人数变化<sup>[2]</sup>”这一现象,这可能是由于硝酸盐比磷酸盐更易溶解于水,从而更能与游客人数变化保持一致所产生的结果。

迎宾池采样点处水中硝酸盐质量浓度变化趋势与五彩池1号采样点处相似,见图8,在此不再赘述。

为了得出更加准确的结论,笔者在2011年的旅游季节,对黄龙风景区上述各景点水中磷酸根离子浓度做了重复性的监测,结果如图9所示。从图中可以清楚地看出,随着旅游强度(游客人数)的增减,五彩池1和迎宾池水中磷酸根离子质量浓度再一次呈现出与之相一致的变化趋势(如图中4个向下的箭头所示),再次证明黄龙风景区水中磷酸盐质量浓度受到旅游活动的影响。

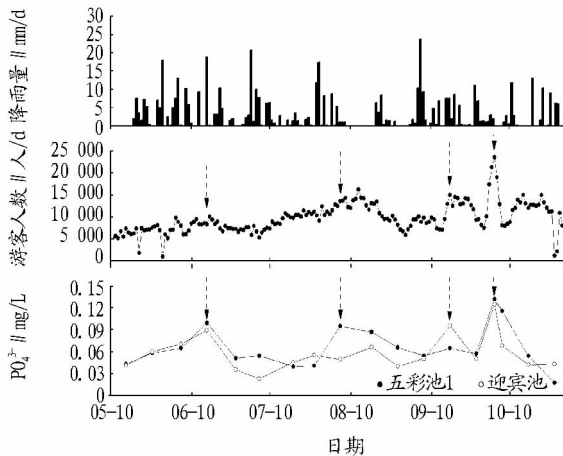


图9 2010年五彩池1、迎宾池采样点处水中磷酸盐质量浓度的时间变化及其与游客人数、降雨量的关系

### 3 结论

在2010年黄龙风景区整个旅游季节,各景点溪流水及相应补给泉水  $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  质量浓度对比分析后发现,就磷酸盐而言,景区各点溪流水已不同程度地受到外源污染物影响;而在对比分析溪流水中磷酸盐、硝酸盐质量浓度与同期游客人数间的关系后,推测这种外源污染物很可能来源于日益增强的旅游活动所产生的生活垃圾;因此,过度的旅游活动对黄龙水质已产生影响,应引起有关方面的高度重视,否则必将加速黄龙钙华景观的退化(水生藻类加速生长,死亡后附着钙华表面,使得钙华表面由黄变黑、钙华沉积速率变缓)。

### 参考文献

[1] 张金流,刘再华.世界遗产——四川黄龙钙华景观研究进展与展望

- [J]. 地球与环境,2010,38(1):79-84.
- [2] 张金流,王海静,刘再华.旅游活动对黄龙景区磷酸盐浓度和水藻生长的影响[J]. 地球学报,2011,32(4):463-468.
- [3] 张金流,王海静.旅游活动对四川黄龙景区水化学及钙华沉积速率的影响[J]. 地球学报,2011,32(6):717-724.
- [4] 张金流,王海静,董立,等.世界遗产——四川黄龙钙华景观退化现象、原因及保护对策分析[J]. 地球学报,2012,33(1):111-120.
- [5] 李永新,田友萍,李银.四川黄龙钙华藻类及其生物岩溶作用[J]. 中国岩溶,2011,30(1):86-92.
- [6] 李永新.藻类在黄龙钙华景观中的作用[J]. 安徽农业科学,2011,39(9):5433-5435,5449.
- [7] 刘再华,田友萍,安德军,等.世界自然遗产——四川黄龙钙华景观的形成与演化[J]. 地球学报,2009,30(6):841-847.
- [8] SCHOONOVER J E, WILLIARD K W J. Ground water nitrate reduction in giant cane and forest riparian zones[J]. Journal of the American Water Resources Association,2003,39(2):347-354.
- [9] SVENSSON T, LOVETT G M, LIKENS G E. Is chloride a conservative ion in forest ecosystems? [J]. Biogeochemistry,2012,107(1/3):125-134.
- [10] ABERG G. The use of natural strontium isotopes as tracers in environmental studies[J]. Water, Air & Soil Pollution,1995,79(1/4):309-322.
- [11] 翟远征,王金生,左锐,等.北京平原区第四系含水层中水-岩作用的锶同位素示踪[J]. 科技导报,2011,29(6):17-20.
- [12] 李前银,范崇荣.黄龙景区水循环系统与景观演化研究[J]. 水文地质工程地质,2009,36(1):108-112.
- [13] 王海静,张金流,刘再华,等.基于水化学和同位素特征的四川黄龙沟泉群分类研究[J]. 地球学报,2011,32(3):367-372.
- [14] MCCAULEY E, DOWNING J A, WATSON S. Sigmoid relationships between nutrients and chlorophyll among lakes [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,1989,46(7):1171-1175.
- [15] PRAIRIE Y T, DUARTE C M, KALFF J. Unifying nutrient-chlorophyll relationship in lakes [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,1989,46(7):1176-1182.
- [16] SEIP K L, GOLDSTEIN H. Different responses to change in phosphorus, P, among lakes, A study of slope in  $\text{chl-a} = f(\text{P})$  graphs [J]. Hydrobiologia,1994,286(1):27-36.
- [17] SEIP K L. Phosphorus and nitrogen limitation of algal biomass across trophic gradients [J]. Aquatic Sciences,1994,56(1):16-28.
- [18] KLAUSMEIER C A, LITCHMAN E, DAUFRESNE T, et al. Optional nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton [J]. Nature,2004,429(6988):171-174.
- [19] 刘春光,金相灿,孙凌,等.不同氮源和曝气方式对淡水藻类生长的影响[J]. 环境科学,2006,27(1):101-104.
- [20] 孙凌,金相灿,钟远,等.不同氮磷比条件下浮游藻类群落变化[J]. 应用生态学报,2006,17(7):1218-1223.
- [21] 罗固源,朱亮,季铁军,等.不同磷浓度和曝气方式对淡水藻类生长的影响[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2007,30(2):86-88.
- [22] 李建平,吴立波,戴永康,等.不同氮磷比对淡水藻类生长的影响及水环境因子的变化[J]. 生态环境,2007,16(2):342-346.
- [23] KIM D, CHOI S H, KIM K H, et al. Spatial and temporal variations in nutrient and chlorophyll-a concentrations in the northern East China Sea surrounding Cheju Island [J]. Continental Shelf Research,2009,29(11/12):1426-1436.
- [24] 朱成科.九寨沟核心区景区湖泊水环境与藻类相关性研究[D]. 重庆:西南大学,2007.
- [25] SIMKISS K. Phosphates as crystal poisons of calcification [J]. Biological Reviews,1964,39(4):487-505.
- [26] REDDY M M, NANCOLLAS G H. Calcite crystal growth inhibition by phosphonates [J]. Desalination,1973,12(1):61-73.
- [27] WILKEN G. Morphology of inhibitor-treated  $\text{CaCO}_3$  precipitate [J]. Desalination,1980,33(2):201-210.
- [28] ISHIKAWA M, ICHIKUNI M. Coprecipitation of phosphates with calcite [J]. Geochemical Journal,1981,15(5):283-288.
- [29] HOUSE W A, DONALDSON L. Adsorption and coprecipitation of phosphates on calcite [J]. Journal of Colloid and Interface Science,1986,112(2):309-324.
- [30] HOUSE W A. Inhibition of calcite crystal growth by inorganic phosphate [J]. Journal of Colloid and Interface Science,1987,119(2):505-511.
- [31] GIANNIMARAS E K, KOUTSOUKOS P G. The crystallization of calcite in the presence of orthophosphate [J]. Journal of Colloid and Interface Science,1987,116(2):423-430.
- [32] KLEINER J. Coprecipitation of phosphate with calcite in lake water: a la-

laboratory experiment modelling phosphorus removal with calcite in lake constance[J]. Water Research, 1988, 22(10): 1259 - 1265.

[33] BURTON E A, WALTER L M. The role of pH in phosphate inhibition of calcite and aragonite precipitation rates in seawater[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54(3): 797 - 808.

[34] DOVE P M, MICHAEL F H Jr. Calcite precipitation mechanisms and inhibition by orthophosphate; in situ observations by scanning force microscopy[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(3): 705 - 714.

[35] GOUDIE A S, VILES H V, PENTECOST A. The late-Holocene tufa decline in Europe[J]. The Holocene, 1993, 3(2): 181 - 186.

[36] GRATZ A J, HILLNER P E. Poisoning of calcite growth viewed in the atomic force microscope (AFM) [J]. Journal of Crystal Growth, 1993, 129(3/4): 789 - 793.

[37] HEATH C R, LEADBEATER B C S, CALLOW M E. Effect of inhibitor on calcium carbonate deposition mediated by freshwater algae[J]. Journal of Applied Phycology, 1995, 7(4): 367 - 380.

[38] HELEEN J D L, LAMBERTUS L, MONIQUE C. Coprecipitation of phosphate with calcium carbonate in lake Veluwe[J]. Water Research, 1995, 29(7): 1781 - 1785.

[39] JONASSON R G, RISPLER K, WIWCHAR B, et al. Effect of phosphonate inhibitors on calcite nucleation kinetics as a function of temperature using light scattering in an autoclave[J]. Chemical Geology, 1996, 132(1/4):

215 - 225.

[40] MILLERO F, HUANG F, ZHU X R, et al. Adsorption and desorption of phosphate on calcite and aragonite in seawater[J]. Aquatic Geochemistry, 2001, 7(1): 33 - 56.

[41] PLANT L J, HOUSE W A. Precipitation of calcite in the presence of inorganic phosphate[J]. Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2002, 203(1/3): 143 - 153.

[42] ABDEL-AAL N, SAWADA K. Inhibition of adhesion and precipitation of  $\text{CaCO}_3$  by aminopoly phosphonate[J]. Journal of Crystal Growth, 2003, 256(1/2): 188 - 200.

[43] LIN Y P, SINGER P C, AIKEN G R. Inhibition of calcite precipitation by natural organic material: kinetics, mechanism, and thermodynamics [J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39(17): 6420 - 6428.

[44] RODRIGUEZ I R, AMRHEIN C, ANDERSON M A. Laboratory studies on the coprecipitation of phosphate with calcium carbonate in the Salton Sea, California[J]. Developments in Hydrobiology, 2008, 201(Part 1): 45 - 55.

[45] LIU Z, SVENSSON U, DREYBRODT W, et al. Hydrodynamic control of inorganic calcite precipitation in Huanglong Ravine, China: Field measures and theoretical prediction of deposition rates[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59(15): 3087 - 3097.

[46] 卢国平, 李行健. 四川黄龙自然风景区冷水型钙华地堆积地貌研究[J]. 成都地质学院学报, 1992, 19(4): 55 - 64.

(上接第 9624 页)

继承民猪的优良肉质特性,虽然仍带有部分皮特兰易应激的特性,但皮民杂交猪肉质上与市场接受的约克夏猪肉品质相

接近,用其生产的杂交猪肉能够在市场上打开销路,并占有一席之地。

表 2 民猪和皮特兰 × 民猪  $F_1$  的物理肉质性状

品种	体重 kg	屠宰率 %	瘦肉率 %	背膘厚 mm	眼肌面积 // $\text{cm}^2$	$\text{pH}_1$	$\text{pH}_{24}$
民猪	110.0 ± 3.33	72.43 ± 2.50	46.14 ± 3.62 <sup>b</sup>	50.33 ± 5.84 <sup>b</sup>	33.17 ± 1.84 <sup>b</sup>	6.03 ± 0.01 <sup>b</sup>	5.85 ± 0.72 <sup>a</sup>
皮特兰 × 民猪 $F_1$	108.58 ± 4.29	71.44 ± 3.28	56.70 ± 4.04 <sup>a</sup>	35.20 ± 7.25 <sup>a</sup>	40.66 ± 3.73 <sup>a</sup>	5.65 ± 0.20 <sup>a</sup>	5.91 ± 0.04 <sup>a</sup>

品种	$L^*$	$a^*$	$b^*$	剪切力 N	滴水损失 %	系水力 %	烹饪损失 // %
民猪	55.00 ± 2.73 <sup>a</sup>	13.42 ± 0.82 <sup>a</sup>	4.47 ± 0.13 <sup>b</sup>	32.28 ± 5.06 <sup>b</sup>	4.33 ± 2.00 <sup>b</sup>	44.27 ± 1.38 <sup>b</sup>	32.34 ± 1.11 <sup>b</sup>
皮特兰 × 民猪 $F_1$	55.60 ± 2.01 <sup>a</sup>	13.15 ± 2.21 <sup>a</sup>	7.78 ± 1.09 <sup>a</sup>	39.12 ± 1.25 <sup>a</sup>	10.04 ± 2.58 <sup>a</sup>	32.38 ± 5.03 <sup>a</sup>	39.53 ± 2.02 <sup>a</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 3 民猪和皮特兰 × 民猪  $F_1$  的含水量和肌内脂肪含量 %

品种	含水量	肌内脂肪含量
民猪	75.73 ± 1.49	75.57 ± 0.57
皮特兰 × 民猪 $F_1$	4.40 ± 0.56	1.10 ± 0.05

通过利用我国地方猪品种与引进品种(瘦肉型猪)杂交选育,是生产具有我国地方猪的产仔多、抗逆性强、肉质好等优良特性,并兼备引进品种(瘦肉型猪)的生长快速、肉料比高、瘦肉率高的杂交商品猪乃至新品系的有效途径。杂交利用是促进我国地方猪种保护与利用的有力措施。

该研究以民猪与皮特兰猪进行杂交,从提高优质肉质性能方面来看,以配套系或者单纯的二元、三元杂交方式开发地方猪种时,要适当考虑增重速度等经济效益,因此民猪、皮特兰猪杂交模式中应再增加一元或二元杂交猪种,以改善肉

质和生长速度上的缺点,从而更好地进行地方猪种的保护和开发利用工作。

参考文献

[1] 王希彪. 用东北民猪与“洋猪”杂交效果好[J]. 养殖技术顾问, 2006(4): 17.

[2] 金鑫, 张树敏, 宋玉贵, 等. 吉林省东北民猪资源调查及保种现状[J]. 猪业科学, 2011(4): 114 - 116.

[3] 周传臣, 张玉芝, 高健. 东北民猪的优良特性[J]. 养殖技术顾问, 2005(2): 10.

[4] 涂伟龙. 皮特兰及其杂交猪屠宰性能测定[J]. 国外畜牧学, 2013, 32(2): 6.

[5] 姚德标. 皮特兰猪做杂交父本利用的研究[J]. 养猪, 2002(2): 19 - 21.

[6] 石光飞. 贵州省湄潭县生猪养殖新技术推广情况调查[J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(7): 64.

[7] 戈新, 邢晋祎, 刘忠琛, 等. 6 个猪群  $Lpin1$  基因多态性分析[J]. 西南农业学报, 2011(1): 301 - 304.