

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

张金流¹⁾, 王海静¹⁾, 董立²⁾, 赵德猛²⁾

1)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;

2)黄龙国家级风景名胜区管理局, 四川松潘 623300

摘要: 近年来, 随着游客人数的逐年增长, 黄龙国家级风景名胜区钙华景观出现了明显的退化现象, 主要表现为地表水量减少, 钙华彩池干枯、钙华沉积速率变慢以及水生藻类加速生长 3 个方面。为了阐明上述退化现象是源于旅游等人为活动因素影响还是自然因素变化所致, 我们首先对比分析了近年来景区上、下游泉水流量变化, 结果发现, 地表水量的减少是源于地表水向地下渗漏量的增加; 考虑到近年来景区内工程活动的增强以及钙华沉积速率的减缓, 这种渗透性的增强很可能来自工程的爆破震动以及钙华沉积速率减缓所导致的钙华致密性下降。同时, 在对黄龙溪流水化学测试分析后发现, 旅游活动在很大程度上影响了黄龙风景区水质进而影响了水生藻类生长以及钙华沉积速率。因此, 我们推测, 黄龙钙华景观的退化, 在一定程度上可能应归结为人类活动的影响。

关键词: 景观退化; 原因; 保护对策; 四川黄龙

中图分类号: P901; P931.1; S759.92 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.01.13

An Analysis of Travertine Landscape Degradation in Huanglong Ravine of Sichuan, A World's Heritage Site, and Its Causes and Protection Countermeasures

ZHANG Jin-liu¹⁾, WANG Hai-jing¹⁾, DONG Li²⁾, ZHAO De-meng²⁾

1) *State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002;*

2) *Huanglong National Scenic Area Administration, Songpan, Sichuan 623300*

Abstract: Travertine landscape at Huanglong Scenic Area shows obvious degradation with the increasing number of tourists in recent years, which finds expression in such aspects as the drying up of the travertine pool, the declined travertine deposition rate and the accelerated algae propagation and travertine darkness. To understand whether these degradations have relation with tourists' activities, the authors investigated water quality and carbonate precipitation rate of Huanglong Ravine in the wet period of 2010 from late May to early November. Automatic logging in field combined with laboratory analysis was carried out to study temporal variations in algae chlorophyll concentration and travertine deposition rate. The results show that tourists' activities have an impact on water quality in some degree and thereby affect the carbonate precipitation rate and algae growth. The authors also found that the reduction of surface stream water is caused by increased surface water leakage, as evidenced by analyzing such factors as the spring flow change in recent years, the enhancement of engineering activities inside and outside the scenic area and the slowing carbonate precipitation in recent years. It is held that the enhanced permeability is caused probably by project blasting vibration and the declining of travertine density due to slowing

本文由中国科学院“百人计划”项目(编号: 2006-067)和国家自然科学基金项目(编号: 40872168)联合资助。

收稿日期: 2011-08-17; 改回日期: 2011-09-27。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 张金流, 男, 1974年生。博士研究生。主要从事生物地球化学和生态地球化学研究。E-mail: zhanggolden@163.com。

precipitation rate. The conclusion can thus be reached that Huanglong Ravine travertine degradation, to some degree, should be attributed to the effect of human activities.

Key words: landscape degradation; causes; countermeasures; Huanglong, Sichuan

黄龙风景区由于其独特的钙华景观(钙华池、瀑布、钙华滩流以及无与伦比的原始大森林)于 1992 年被联合国教科文组织列为世界自然遗产名录以来,每年吸引数以百万计的国内外游客前来游览,给国家和地方政府带来数十亿元人民币的收入;然而,或许是自然原因亦或是过度的旅游活动的影响(比如,游客人数自 20 世纪 90 年代初的年均约 10 万人增加到现在的 100 万人以上,高峰时达到 300 万),近年来黄龙钙华景观出现了明显的退化现象,主要表现在以下 3 个方面(刘再华, 2008):

(1)地表溪流量减少,使得某些钙华彩池干枯或季节性干枯(图 1-A),不但本身失去观赏价值,还影响到景观的总体观感;

(2)可能由于过度旅游活动造成对溪流水体的污染(污染源主要是景区的饭店、快餐店、厕所、垃圾桶等),水生藻类加速繁殖,使得某些钙华表面颜色由黄变黑(图 1-B),失去美感;

(3)钙华沉积速率变慢,加上人为的踩踏(王海静, 2009),钙华表面砂化现象严重,在水流冲刷作用下,使得某些钙华彩池被逐渐填平(图 1-C),失去观赏价值。

上述钙华景观退化现象引起了科研人员的极大关注(杨俊义等, 2004; 郭建强, 2005; 单莉莉等, 2006; 郭建强等, 2009; 王华等, 2010),黄龙国家级风景名胜区管理局和联合国教科文组织世界遗产委员会对此也高度重视;为防止钙华景观继续退化,并对退化景观进行修复,以使黄龙世界自然遗产得以永续利用,我们做了如下研究,以期揭示黄龙钙华景观退化的真正原因,为黄龙钙华景观的保护以及退化景观的修复提供科学依据。

黄龙风景区位于川西北高原,阿坝藏族羌族自治州松潘县境内,位于成都市西北约 350 km。黄龙风景区钙华景观全长约 3.5 km,南起望乡台(海拔: 3658 m),北到涪江河谷(海拔: 3080 m),平均宽度约 250 m;钙华主要沉积在志留系板岩、砂岩之上(图 2);源泉(黄龙泉群,图 2 中的 S1)补给区岩层以泥盆-石炭系灰岩、白云岩为主,为黄龙钙华景观的形成提供了丰富的钙源;沟内年均气温 1.1℃,降雨量达 759 mm/a(Liu et al., 1995);区内最高峰为雪宝顶,海拔 5588 m(卢国平等, 1992),山顶终年积雪;采样及监测点位置见图 2。

1 研究方法

1.1 磷酸盐水样的采集和室内分析

每隔 10 d 左右,使用 60 mL 的注射器加含有 0.45 μm 玻璃纤维的过滤器采集监测点水样,盛于 60 mL 聚乙烯瓶中并定期送回中科院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室用离子色谱仪(美国 Dionex 公司产的 ICS-90 型离子色谱仪)分析水中磷酸盐含量,其检测限是 0.001×10^{-6} ;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;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℃ 条件下烘干 24 h。

1.2 钙华沉积样采集

为了获取各监测点钙华沉积速率的时间变化规律,按照 Liu 等(1995)的方法,于采样点放置有机玻璃试片(规格是 5 cm × 5 cm × 0.5 cm,总表面积约 60 cm²),每隔 10 d 左右更换一次,玻璃试片在放入水中之前及回收后,在 50℃ 条件下置于烘箱中烘干 24 h,之后置于玻璃干燥器中冷却至室温,用分析天平称重,其分辨率为 0.1 mg,然后按下式计算钙华沉积速率(具体计算方法见文献 Liu et al., 1995)

$$R = \frac{(W_{ts} - W_s)}{A \times T}$$

式中, W_{ts} 和 W_s 分别是沉积后和沉积前玻璃试片的重量; A 是玻璃试片的总表面积(60 cm²); T 是玻璃试片在溪流水中停留时间(即两次采样的时间间隔,大约 10 d 左右,精确到分钟)。

1.3 叶绿素和降雨量的自动监测

叶绿素浓度使用安装于湫滩湖边上的德国产 SEBA MP3 572 型多参数水质自动记录仪自动测定(图 1-D),该仪器叶绿素浓度的测试范围为 0.03~500 μg/L,分辨率为 0.01 μg/L;降雨量使用同样安装于湫滩湖边上的美国产 HOBO 便携式小型气象站自动记录(图 1-D),该仪器降雨量的测试范围为 0~12.7 cm/hr,分辨率为 0.2 mm;两台仪器数据采集器的扫描时间间隔皆设定为 15 min。

1.4 水化学监测

用德国产 WTW 350i 型便携式多参数水质监测仪每日监测各监测点水温、pH 值以及电导率,精度

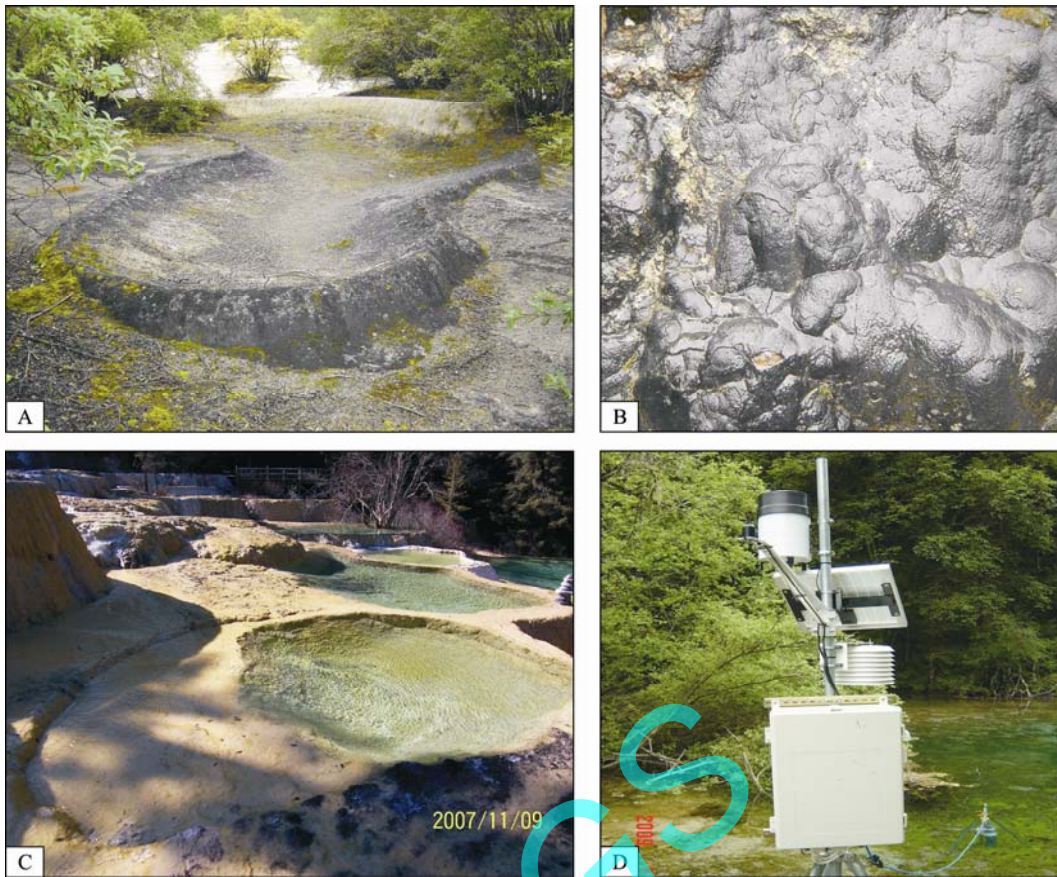


图 1 A-干枯变黑的钙华池; B-黑化的钙华彩池边石坝; C-被沙化钙华填满一半的彩池;
D-HOBO 小气象仪及 SEBA 多参数水质记录仪

Fig. 1 A-dry and darkened colorful pond; B-darkened colorful pond dam; C-half of colorful pond filled up with travertine sand; D-HOBO meteorological apparatus and SEBA multi-parameter water quality instrument

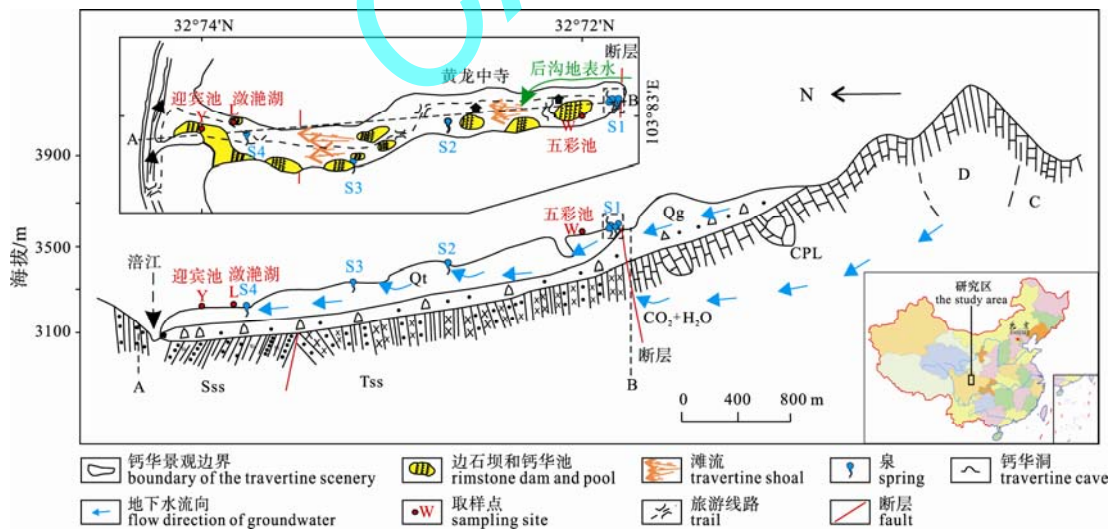


图 2 黄龙风景区地质平面及剖面图以及泉、采样点

Fig. 2 Plan and geological section of Huanglong Ravine with springs and sampling sites

Qt/Qg-第四系钙华/冰碛砂及砾石; Tss-三叠系凝灰质砂岩、板岩和干枚岩; 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

Qt/Qg-Quaternary travertine/glacial sand gravel; Tss-Triassic sandstone and slate; CPL-Carboniferous-Permian limestone; D-Devonian slate and limestone; Sss-Silurian slate intercalated with sandstone; C-Carboniferous limestone

分别是 0.1°C 、 0.01 pH 和 $1\ \mu\text{s/cm}$ ；同时，在现场用德国 Merck 公司产碱度计和硬度计滴定盒滴定水中的 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 浓度，两者的精度分别是 $6\ \text{mg/L}$ 和 $2\ \text{mg/L}$ ，并据上述数据使用 WATSPEC 软件计算方解石饱和指数 SIc (Wigley, 1977)。

1.5 泉水流量监测

使用水利部重庆水文仪器厂生产的 LJD 打印式流速流量仪定期监测三个大泉(地表水、黄龙泉及龙泉眼)的泉水流量,用以分析各泉流量的时间变化规律,该仪器的测量范围是 $0.1\sim 4\ \text{m/s}$, 测量误差 2% , 并根据下式计算各泉的流量 $Q/(\text{L/s})$:

$$Q=B \times H \times V$$

式中: B 为矩形堰口宽度/cm; H 为平均水头高度/cm; V 为泉水平均流速/(m/s)。

2 实验结果和讨论

2.1 上游地表水总流量与下游龙泉眼流量关系

由前文可知,黄龙景区部分地段由于地表水流量的减少使得钙华彩池干枯,失去了观赏价值;为了寻找地表水流量减少的真正原因,我们对近年来上游地表水总流量(后沟地表水及源泉流量之和)(李前银等, 2009; 王海静等, 2011)、源泉(黄龙泉群, 图 2 中的 S1)流量及下游龙泉眼(图 2 中的 S4)流量间的关系进行了分析, 结果如图 3:

由图 3 可知,源泉(黄龙泉群)总流量基本不变,反映了近年来大气降水补给基本稳定,上游地表水总流量和下游龙泉眼流量有逐年增加的趋势,可能

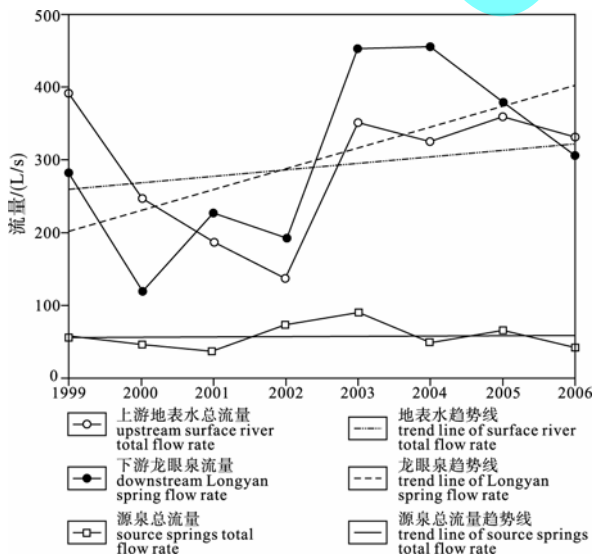


图 3 黄龙泉总流量、上游地表水总流量和下游龙泉眼流量多年变化趋势(据刘再华等, 2009)

Fig. 3 Multi-trend for the flow rates of source springs, upstream surface river and downstream Longyan spring in the Huanglong Ravine (after LIU Zai-hua et al., 2009)

是气温逐年升高导致雪宝顶融雪水补给增加所致,这一推测我们从图 4 也得到了证实;但下游龙泉眼流量增加较上游地表水总流量增加趋势更加明显,说明中、下游地表水向地下漏失后对龙泉眼的补给比以前有所增加。由此我们推测,黄龙景区部分地段由于地表流量的减少而出现的彩池干枯现象并不是近年来大气降雨减少所致,而是起因于景区地表径流下渗量的增加,这与相关的研究结果也是一致的(杨俊义等, 2004; 杨俊义, 2004; 石岩, 2005)。

2.2 旅游等人为活动对黄龙景区水质的影响

近年来前往黄龙景区的游客人数逐年增加,从 20 世纪 90 年代初的年均约 10 万人增加到近年来的 100 多万(如 2010 年游客人数超过 110 万, 2008 年 5.12 汶川地震前年游客人数高峰达到近 300 万);为探讨如此快速增长的旅游强度是否会对黄龙水体造成影响(如快速增长的旅游活动所带来的生活污染),我们从 2010 年 4 月下旬到 11 月中旬(即旅游旺季)对黄龙风景区上游五彩池和下游迎宾池两处景点溪流水中溶解磷酸盐做了一个旅游周期的监测,以分析其与人类活动的关系,结果如图 5 所示;需要说明的是,在本研究中,我们选用磷酸盐作为研究指标,是因为:一方面,作为营养盐,它能够促进水藻的生长(Prairie et al., 1989; Mccauley et al., 1989; Seip et al., 1994; Klausmeier et al., 2004; 刘春光等, 2006; 孙凌等, 2006; 罗固源等, 2007; 李建平等, 2007; Kim et al., 2009; 张金流等, 2011);另一方面,作为碳酸盐沉积的阻滞剂,它能有效地减缓钙华的沉积(Simkiss, 1964; Reddy et al., 1973; Wilken, 1980;

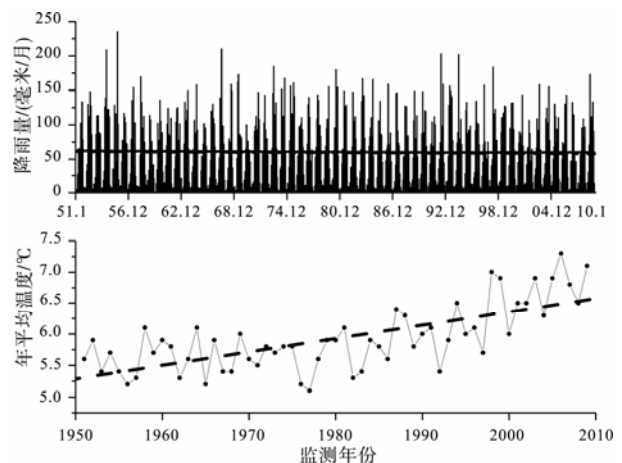


图 4 松潘县历年月平均降雨量及年平均气温 (1951.1—2010.1)(数据来自中国气象科学数据共享服务网, <http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>)

Fig. 4 Average monthly rainfall and annual air temperature in Songpan from 1951.1 to 2010.1 (data from China Meteorological Data Sharing Service System <http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>)

Ishikawa et al., 1981; House et al., 1986; House, 1987; Giannimaras et al., 1987; Kleiner, 1988; Burton et al., 1990; Dove et al., 1993; Goudie et al., 1993; Gratz et al., 1993; Heath et al., 1995; Heleen et al., 1995; Jonasson et al., 1996; Millero et al., 2001; Plant et al., 2002; Abdel-Aal et al., 2003; Lin et al., 2006; Rodriguez et al., 2008), 从而降低退化钙华景观自我修复能力。

从图 5 可知, 五彩池和迎宾池两处水中磷酸盐浓度变化与游客人数变化呈现明显的一致性, 特别是在几个游客高峰期, 如 7 月底到 8 月底以及国庆节期间, 随着游客人数的增加, 水中磷酸盐浓度也明显增加(见图中单箭头所示), 说明旅游活动对黄龙水体已产生了明显影响; 同时, 我们从图中也可看出, 水中磷酸盐浓度的变化与游客人数的变化在时间上有时呈现出一定的滞后现象(见图中斜向实线箭头所示), 如从 7 月底到 8 月底这段时间; 这可

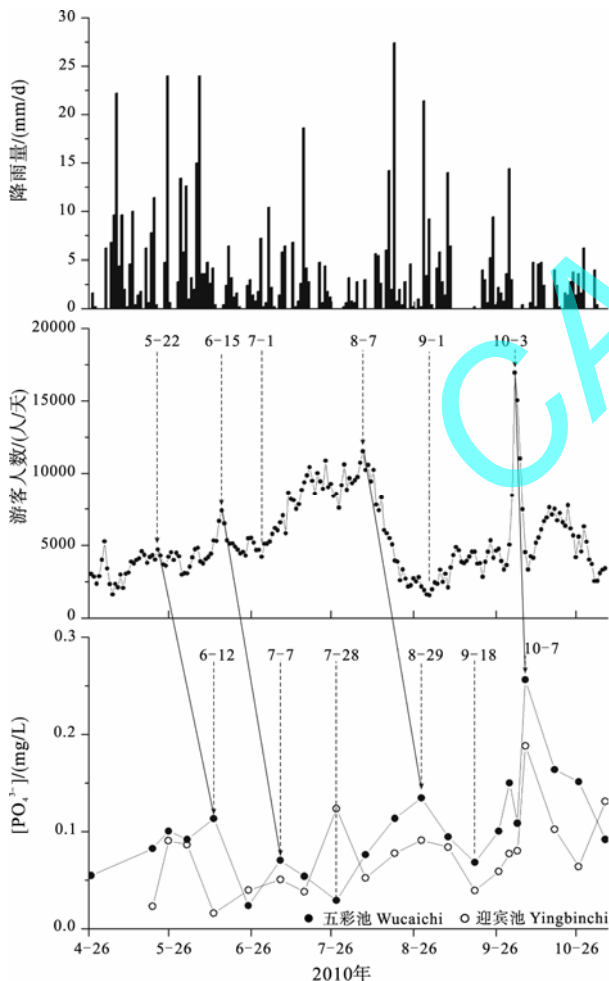


图 5 五彩池和迎宾池水中磷酸盐浓度季节变化与同期游客人数及降雨量的关系(张金流等, 2011)

Fig. 5 Seasonal variation of phosphate concentrations at Wucaichi sampling site and Yingbinchi sampling site and its relation with rainfall and number of tourists (after ZHANG Jin-liu et al., 2011)

能是因为这期间降雨量偏少, 旅游活动带入景区的生活垃圾以及景区内其它污染源产生的垃圾中所含可溶性磷酸盐不能及时溶于水中, 使得同期水中磷酸盐浓度的升降不能与游客人数的变化保持很好的一致性, 但随着稍后降雨量的增加, 在雨水冲刷作用下, 前期垃圾中滞留的磷酸盐又开始逐渐溶解, 使得水中磷酸盐浓度快速上升(即雨水对滞留垃圾中所含磷酸盐的冲刷效应); 另外, 我们也注意到, 五彩池和迎宾池水中磷酸盐浓度变化也有不一致的地方, 如 7 月 28 日, 五彩池和迎宾池水中磷酸盐浓度正好相反, 这可能是因为在景区内分布不均匀, 从而导致对各景点水质影响程度也不尽相同。据此, 我们推测, 旅游活动等人为因素可能已成为黄龙水体磷酸盐污染的重要来源。

2.3 水中磷酸盐浓度与水生藻类生物量的关系

由 2.2 节分析可知, 黄龙景区溪流水中磷酸盐含量已明显受到旅游等人类活动的影响, 为了研究这种影响是否会对景区内水生藻类生长产生变化, 我们在泮湖湖边安装了德国产 SEBA MP3 572 型多参数水质自

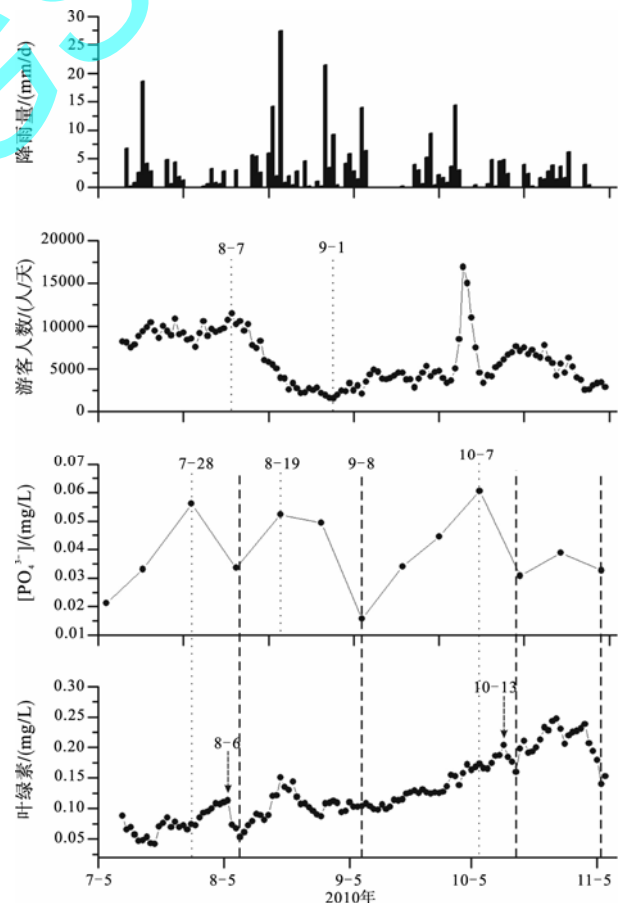


图 6 泮湖水中叶绿素浓度季节性变化及其与同期磷酸盐浓度间的关系(据张金流等, 2011)

Fig. 6 Seasonal variation of chlorophyll concentrations at Lianyan pool sampling site and its relation with phosphate concentrations in water(after ZHANG Jin-liu et al., 2011)

动记录仪,用以监测湖中水藻叶绿素浓度(作为水生藻类生物量指标)的时间动态变化,并把这种变化与同期水中磷酸盐浓度变化做一对比分析,结果如图6所示。

由图6可知,随着水中磷酸盐浓度周期性波动(见图中四条粗虚线隔开的部分),水中叶绿素浓度也呈现出与之一致的变动趋势,比如从9.8到10.7,水中磷酸盐浓度一直呈上升趋势,与之对应的叶绿素浓度也呈现出上升趋势,之后,随着磷酸盐浓度的下降,叶绿素浓度也开始下降,说明磷酸盐作为限制性营养盐,在一定程度上可能促进了水生藻类的生长;当然,正如2.2节中出现的水中磷酸盐浓度有时滞后于游客人数一样,此处水中磷酸盐也出现了同样的现象,其原因与2.2节分析的一样,在此不在赘述;同时,叶绿素浓度变化也有滞后于磷酸盐浓度变化的现象,这是因为:一方面,磷酸盐浓度采样方法是瞬时取样法,不能像SEBA仪器那样自动记录相关参数连续变化趋势;其二,叶绿素反映的是水生藻类的生物量,其浓度变化是一个生物过程,因此,也不可能像化学反应那样迅速地对相关影响因子做出反应,而是需要一定时间的响应过程;因此,不能由于水藻叶绿素浓度变化与磷酸盐浓度变化间呈现一定的滞后现象而否定磷酸盐对其生长的促进作用,恰恰相反,这种滞后现象正是磷酸盐作为营养盐限制水生藻类生长的表现。

2.4 水中磷酸盐与钙华沉积速率间的关系

由上述两节分析可知,旅游等人类活动可能是黄龙水体磷酸盐的重要来源,那么这种来源的磷酸盐对钙华沉积速率有何影响,是否与黄龙景观钙华沉积速率变缓这一退化现象有关?为此,我们以黄龙风景区上游五彩池和下游迎宾池两处景点为例,来分析旅游活动对黄龙钙华沉积速率的影响。

从图7可以清楚地看出,在五彩池和迎宾池两处景点,钙华沉积速率和水中磷酸盐浓度变化间呈现明显的负向变化趋势,而与水温、降雨量变化间的关系不甚明显,说明水中溶解磷酸盐可能已对黄龙钙华沉积产生一定的负面影响。

为了定量分析水中磷酸盐对钙华沉积速率的阻滞影响,我们利用数据统计分析软件SPSS,对五彩

池和迎宾池两处钙华沉积速率与相关影响因素间的关系进行了回归分析,逐步回归方程见表1:

结合图7及表1中两采样点钙华沉积速率与相关影响因素间的回归方程可以更清楚地看出,黄龙风景区五彩池和迎宾池两处景点钙华沉积速率明显受到水中磷酸盐的阻滞作用(从两处回归方程中磷酸盐浓度前的系数为负且与其它两系数相比绝对值最大即可看出);同时我们也注意到,虽然迎宾池处回归方程综合F值仅为0.605,可信度不是太高,但从已有的理论即磷酸盐是钙华沉积的有效阻滞剂来看,我们认为此回归方程仍有一定的意义(即在一定程度上仍可以定量反映磷酸盐对钙华沉积的阻滞作用)。因此,我们可以推测,旅游等人类活动对黄龙水体的污染可能已对黄龙钙华沉积速率产生一定的影响,这很可能就是近年来黄龙钙华沉积速率变慢这一退化现象的重要原因。

3 结论及保护对策

近年来黄龙钙华景观出现了明显的退化现象,表现为:(1)地表水量减少,部分钙华彩池干枯;(2)水生藻类加速生长,钙华表面颜色由黄变黑;(3)钙华沉积速率变慢,加上人为的踩踏,钙华表面砂化现象严重;为了找出上述退化现象的科学机理,我们分析了近年来上游地表水、源泉和下流龙眼泉流量的变化趋势,结果发现,黄龙风景区地表水流量的减少不是起因于人们推测的近年来降雨量的减少,而是地表水渗漏量增加所致;同时,分析景区水质在一个旅游季节期间的变化后,我们发现,随着旅游强度的增加,景区水质已明显受到人类活动的影响,而水质的变化又促进了水藻的生长并减缓了钙华的沉积;因此我们推测,旅游等人为活动很可能在一定程度上加速了黄龙钙华景观的退化,是近年来黄龙钙华景观加速退化的真正原因。

根据上述景观退化的起因,我们提出如下保护建议,以减缓景观的退化速度:

1)严格控制景区及周边不必要的工程活动。我们知道,钙华是疏松的碳酸盐沉积物,对水的渗透性很强,景区及周边工程建设(如景区相关工程建

表1 五彩池、迎宾池两处钙华沉积速率回归方程

Table 1 Regression equation of travertine deposition rates at Wucaichi and Yingbinchi sampling sites

取样点	回归方程	复相关系数	综合F值
五彩池	$R_c = 2.593 - 0.013WT + 0.026Rain - 6.107[PO_4^{3-}]$	0.673	3.315
迎宾池	$R_c = 5.568 - 0.226WT - 0.0194Rain - 13.764[PO_4^{3-}]$	0.362	0.605

注: R_c 是钙华沉积速率; WT 是平均水温; Rain 是降雨量; $[PO_4^{3-}]$ 是水中的溶解磷酸盐浓度。

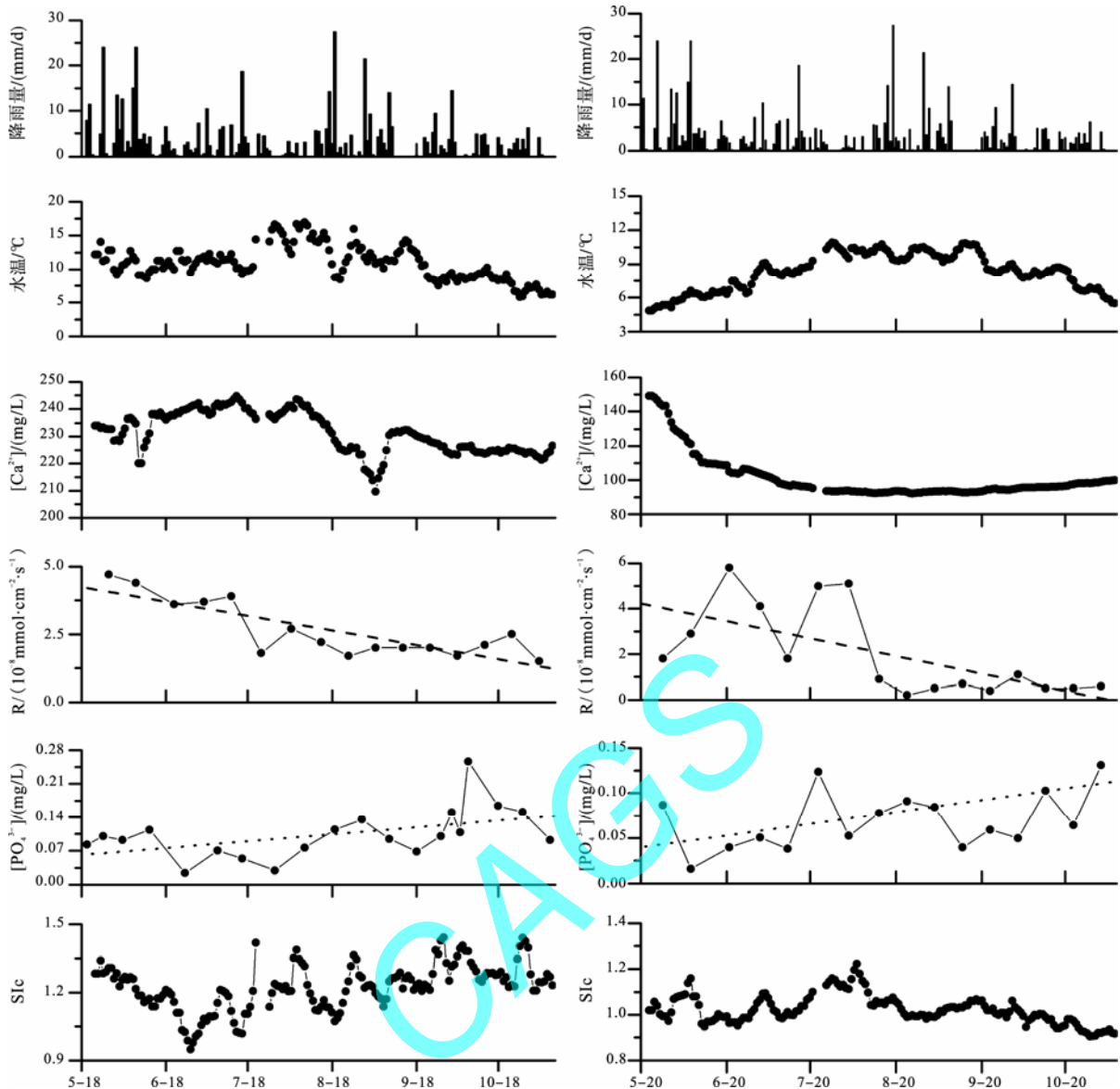


图7 五彩池(左)、迎宾池(右)钙华沉积速率与磷酸盐、降雨量以及水温间的关系(2010)

Fig. 7 Relationship between travertine deposition rate and phosphate concentration, rainfall and water temperature at Wucaichi (left) and Yingbingchi (right)

R-钙华沉积速率; SIc-方解石饱和指数

R-travertine deposition rate; SIc-calcite saturation index

设、景区周边开矿爆破等)的影响,很可能导致原有钙华的渗透性增强,从而增加地表水的下渗量,减少地表径流量。

2)科学规划景区旅游路线,尽量使其远离钙华彩池,同时应加强景区生活设施和生活垃圾的管理,降低因旅游等人类活动对黄龙水体造成的污染。

参考文献:

单莉莉,覃建雄,张瑞英. 2006. 九寨黄龙景区地质景观成景及可持续发展策略探讨[J]. 国土资源科技管理, 23(6):

88-91.

郭建强,曹俊. 2009. 四川康定县玉农希钙华景观及其水循环系统[J]. 地球学报, 30(3): 345-353.

郭建强. 2005. 四川九寨沟、黄龙钙华景观保护研究[J]. 四川地质学报, 25(1): 23-26.

李建平,吴立波,戴永康,王启山,王嵩,张丽彬. 2007. 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, 16(2): 342-346.

李前银,范崇荣. 2009. 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, 36(1): 108-112.

刘春光,金相灿,孙凌,孙红文,朱琳,于洋,戴树桂,庄源益.

2006. 不同氮源和曝气方式对淡水藻类生长的影响[J]. 环境科学, 27(1): 101-104.
- 刘再华, 田友萍, 安德军, 王海静, 唐淑, 张金流, 孙海龙, 刘彦, 张清明. 2009. 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, 30(6): 841-847.
- 刘再华. 2008. 世界遗产—黄龙钙华景观退化的人为和自然影响机理研究(国家自然科学基金项目申请书: 批准文号: 40872168)[Z]. 贵州贵阳: 中国科学院地球化学研究所.
- 卢国平, 李行健. 1992. 四川黄龙自然风景区冷水型钙华地表堆积地貌研究[J]. 成都地质学院学报, 19(4): 55-64.
- 罗固源, 朱亮, 季铁军, 唐刚, 康康. 2007. 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), 30(2): 86-88.
- 石岩. 2005. 黄龙水环境特征与钙华景观演化趋势研究[D]. 成都: 成都理工大学.
- 孙凌, 金相灿, 钟远, 张冬梅, 朱琳, 戴树桂, 庄源益. 2006. 不同氮磷比条件下浮游藻类群落变化[J]. 应用生态学报, 17(7): 1218-1223.
- 王海静, 张金流, 刘再华, 台永东. 2011. 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, 32(3): 367-372.
- 王海静. 2009. 四川黄龙沟钙华沉积溪流的水化学和同位素的时空变化研究[D]. 重庆: 西南大学.
- 王华, 覃嘉铭, 安德军, 杨琰, 孙海龙, 林玉山, 杨勋林, 应启和, 张清明. 2010. 黄龙钙华 ^{210}Pb 计年与现代沉积的环境变化研究[J]. 地球学报, 31(2): 216-222.
- 杨俊义, 万新南, 席彬, 蔡永寿, 蹇代君, 朱忠福, 董立, 杨宝林, 石磊, 程华稔, 唐淑. 2004. 九寨沟黄龙地区钙华漏斗的特征与成因探讨[J]. 水文地质工程地质, 31(2): 90-93.
- 杨俊义. 2004. 九寨沟黄龙地区景观钙华的特征与成因探讨[D]. 成都: 成都理工大学.
- 张金流, 王海静, 刘再华. 2011. 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, 32(4): 463-468.
- 中国气象科学数据共享服务网. 2010. 松潘县历年月平均降雨量及年平均气温[DB/OL]. <http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>.
- Chinese).
- DOVE P M, MICHAEL F H JR. 1993. Calcite precipitation mechanisms and inhibition by orthophosphate: in situ observations by scanning force microscopy[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57(3): 705-714.
- GIANNIMARAS E K, KOUTSOUKOS P G. 1987. The crystallization of calcite in the presence of orthophosphate[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 116(2): 423-430.
- GOUDIE A S, VILES H A, PENTECOST A. 1993. The late-Holocene tufa decline in Europe[J]. *The Holocene*, 3(2): 181-186.
- GRATZ A J, HILLNER P E. 1993. Poisoning of calcite growth viewed in the atomic force microscope (AFM)[J]. *Journal of Crystal Growth*, 129(3-4): 789-793.
- GUO Jian-qiang, CAO Jun. 2009. Yulongxi Travertine Landscape in Kangding County of Sichuan Province and its Related Hydrological Cycle System[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 30(3): 345-353(in Chinese with English abstract).
- GUO Jian-qiang. 2005. On Protection of travertine Landscape in the Jiuzhai Valley and Huanglong Scenic spots[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 25(1): 23-26(in Chinese with English abstract).
- HEATH C R, LEADBEATER B C S, CALLOW M E. 1995. Effect of inhibitors on calcium carbonate deposition mediated by freshwater algae[J]. *Journal of Applied Phycology*, 7(4): 367-380.
- HELEEN J D L, LAMBERTUS L, MONIQUE C. 1995. Coprecipitation of phosphate with calcium carbonate in Lake Veluwe[J]. *Water Research*, 29(7): 1781-1785.
- HOUSE W A, DONALDSON L. 1986. Adsorption and coprecipitation of phosphate on calcite[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 112(2): 309-324.
- HOUSE W A. 1987. Inhibition of calcite crystal growth by inorganic phosphate[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 119(2): 505-511.
- ISHIKAWA M, ICHIKUNI M. 1981. Coprecipitation of phosphate with calcite[J]. *Geochemical Journal*, 15(5): 283-288.
- JONASSON R G, RISPLER K, WIWCHAR B, GUNTER W D. 1996. Effect of phosphonate inhibitors on calcite nucleation kinetics as a function of temperature using light scattering in an autoclave[J]. *Chemical Geology*, 132(1-4): 215-225.
- KIM D, CHOI S H, KIM K H, SHIM J, YOO S, KIM C H. 2009. Spatial and temporal variations in nutrient and chlorophyll-a concentrations in the northern East China Sea surrounding Cheju Island[J]. *Continental Shelf Research*, 29(11-12):

References:

- 1426-1436.
- KLAUSMEIER C A, LITCHMAN E, DAUFRESNE T, LEVIN S A. 2004. Optimal nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton[J]. *Nature*, 429(6988): 171-174.
- KLEINER J. 1988. Coprecipitation of phosphate with calcite in lake water: a laboratory experiment modelling phosphorus removal with calcite in lake constance[J]. *Water Research*, 22(10): 1259-1265.
- LI Jian-ping, WU Li-bo, DAI Yong-kang, WANG Qi-shan, WANG Song, ZHANG Li-bin. 2007. Effects of different nitrogen-phosphorus ratio on the freshwater phytoplankton growth and the variations of environmental factors[J]. *Ecology and Environment*, 16(2): 342-346(in Chinese with English abstract).
- LI Qian-yin, FAN Chong-rong. 2009. A study of water circulation system and landscape evolution of Huanglong scenic spot[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 36(1): 108-112(in Chinese with English abstract).
- LIN Y P, SINGER P C. 2006. Inhibition of calcite precipitation by orthophosphate: Speciation and thermodynamic considerations[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(10): 2530-2539.
- LIU Chun-guang, JIN Xiang-can, SUN Ling, SUN Hong-wen, ZHU Lin, YU Yang, DAI Shu-gui, ZHUANG Yuan-yi. 2006. Effects of Nitrogen Source and Aeration Mode on Algae Growth in Freshwater[J]. *Environmental Science*, 27(1): 101-104(in Chinese with English abstract).
- LIU Zai-hua, SVENSSON U, DREYBRODT W, YUAN Dao-xian, BUHMANN D. 1995. Hydrodynamic control of inorganic calcite precipitation in Huanglong Ravine, China: Field measurements and theoretical prediction of deposition rates[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(15): 3087-3097.
- LIU Zai-hua, TIAN You-ping, AN De-jun, WANG Hai-jing, TANG Shu, ZHANG Jin-liu, SUN Hai-long, LIU Yan, ZHANG Qing-ming. 2009. Formation and Evolution of the Travertine Landscape at Huanglong, Sichuan, One of the World Natural Heritages[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 30(6): 841-847(in Chinese with English abstract).
- LIU Zai-hua. 2008. Study on anthropogenic and natural effect mechanism of travertine landscape degradation in Huanglong—a world's heritage (Application of the National Natural Science Foundation of China, Grant No. 40872168)[Z]. Guiyang, Guizhou: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences(in Chinese).
- LU Guo-ping, LI Xin-jian. 1992. A Study on Cold-Water Travertine Surface Depositional Landforms in Huanglong Scenic Spot, Sichuan Province[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 19(4): 55-64(in Chinese with English abstract).
- LUO Gu-yuan, ZHU Liang, JI Tie-jun, TANG Gang, KANG Kang. 2007. Effects of Different P Concentration and Aeration Patterns on Growth of Algae in Freshwaters[J]. *Journal of Chongqing University (Natural Science Edition)*, 30(2): 86-88(in Chinese with English abstract).
- MCCAULEY E, DOWNING J A, WATSON S. 1989. Sigmoid relationships between nutrients and chlorophyll among lakes[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46: 1171-1175.
- MILLERO F, HUANG Fei, ZHU Xia-rong, LIU Xue-wu, ZHANG Jia-zhong. 2001. Adsorption and desorption of phosphate on calcite and aragonite in seawater[J]. *Aquatic Geochemistry*, 7(1): 33-56.
- PLANT L J, HOUSE W A. 2002. Precipitation of calcite in the presence of inorganic phosphate[J]. *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 203(1-3): 143-153.
- PRAIRIE Y T, DUARTE C M, KALFF J. 1989. Unifying nutrient-chlorophyll relationship in lakes[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46: 1176-1182.
- REDDY M M, NANCOLLAS G H. 1973. Calcite crystal growth inhibition by phosphonates[J]. *Desalination*, 12(1): 61-73.
- RODRIGUEZ I R, AMRHEIN C, ANDERSON M A. 2008. Laboratory studies on the coprecipitation of phosphate with calcium carbonate in the Salton Sea, California[J]. *Hydrobiologia*, 604(1): 45-55.
- SEIP K L, GOLDSTEIN H. 1994. Different responses to changes in phosphorous, P, among lakes, A study of slope in chl- α =f(P) graphs[J]. *Hydrobiologia*, 286(1): 27-36.
- SHAN Li-li, QIN Jian-xiong, ZHANG Rui-ying. 2006. A Discussion on Formation of Jiuzhaigou-Huanglong Geologic Sight and Sustainable Development Strategy[J]. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 23(6): 88-91(in Chinese with English abstract).
- SHI Yan. 2005. Study on the hydro-environmental characteristics and travertine evolution at HuangLong Area[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- SIMKISS K. 1964. Phosphates as crystal poisons of calcification[J]. *Biological Reviews*, 39(4): 487-505.
- SUN Ling, JIN Xiang-can, ZHONG Yuan, ZHANG Dong-mei, ZHU Lin, DAI Shu-gui, ZHUANG Yuan-yi. 2006. Changes of algal communities in water body with different proportions of

- nitrogen and phosphorus[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 17(7): 1218-1223(in Chinese with English abstract).
- WANG Hai-jing, ZHANG Jin-liu, LIU Zai-hua, TAI Yong-dong. 2011. Classification of Spring Groups Based on Hydrochemical and Isotopic Features of Huanglong Ravine[J]. Acta Geoscientia Sinica, 32(3): 367-372(in Chinese with English abstract).
- WANG Hai-jing. 2009. Study on the Spatio-temporal Variations of Hydrochemistry and Stable Isotopes at Huanglong in Sichuan, China[D]. Chongqing: Southwest University(in Chinese with English abstract).
- WANG Hua, QIN Jia-ming, AN De-jun, YANG Yan, SUN Hai-long, LIN Yu-shan, YANG Xun-lin, YING Qi-he, ZHANG Qing-ming. 2010. A study of ^{210}Pb Dating and Climatic Changes of Modern Sediments from Tufa in Huanglong, Sichuan Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 31(2): 216-222(in Chinese with English abstract).
- WIGLEY T M L. 1977. WATSPEC: a computer program for determining equilibrium speciation of aqueous solutions[M]. London: British Geomorphological Research Group.
- WILKEN G. 1980. Morphology of inhibitor-treated CaCO_3 precipitate[J]. Desalination, 33(2): 201-210.
- YANG Jun-yi, WAN Xin-nan, XI Bin, CAI Yong-shou, JIAN Dai-jun, ZHU Zhong-fu, DONG Li, YANG Bao-lin, SHI Lei, CHENG Hua-nian, TANG Shu. 2004. Characteristics and formation of the travertine funnels in the Jiuzhaigou-Huanglong area[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 31(2): 90-93(in Chinese with English abstract).
- YANG Jun-yi. 2004. Characteristics and Formation of the travertine in Jiuzhaigou-Huanglong Area[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jin-liu, WANG Hai-jing, LIU Zai-hua. 2011. Impact of tourist activities on PO_4^{3-} concentrations and aquatic algae growth at the Huanglong Scenic Spot, Sichuan Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 32(4): 463-468(in Chinese with English abstract).

中国地质科学院杨经绥研究员被选为美国地质学会会士 和美国矿物学会会士

经美国地质学会会士的推荐和选举, 2011年美国地质学会2011年新增选会士(GSA Fellow)62人。中国地质科学院地质研究所大陆构造与动力学国家重点实验室的杨经绥研究员榜上有名。

2011年10月8日, 杨经绥研究员又收到了美国矿物学会David Bish主席的来信和证书, 正式通知杨经绥已经被增选为美国矿物学会会士(MSA Fellow)。

杨经绥研究员被美国地质学会和美国矿物学会选为会士, 表明杨经绥及其研究群体的成果得到了美国和国际同行的认可。

美国地质学会(GSA, Geological Society of America)是一个非盈利性的国际性地球科学组织, 1888年在美国纽约创立, 目前拥有超过24,000名会员, 会员来自97多个国家。有成就的GSA会员有可能被提名和选举为会士。新会士的增选是通过现有的美国地质学会会士(GSA Fellow)推荐和选举产生。GSA会员被选为会士, 是对他们在地球科学领域的杰出贡献的认可。

美国矿物学会(MSA, Mineralogical Society of America)是全球最具影响的地球学术组织之一, 创立于1919年。1984年开始学会设立会士(MSA Fellow), 每年从全球从事矿物学、结晶学、地球化学和岩石学等领域的科学家中, 经过会士委员会提名、学会理事会投票产生。每年新增选会士不超过会员的0.5%, 奖励在以上领域做出重要贡献的科学家。