

四川黄龙钙华藻类及其生物岩溶作用

李永新,田友萍,李 银

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

摘 要:从探索黄龙钙华的生物成因角度出发,对黄龙钙华藻类进行了采集、鉴定和分析,并对钙华藻类的生物岩溶作用做了初步探讨。研究得出黄龙钙华藻类分属于4门19属86种,优势种属为 *Tolypothrix* 属、*Gloeocapsa* 属和 *Cymbella* 属。黄龙景区不同环境区域的优势藻类有所不同,藻类参与的碳酸盐沉积在不同岩溶景观中所起作用也有所差异。其中蓝藻参与的碳酸盐沉积主要表现于黄龙钙华坝景观的形成过程中,由硅藻参与碳酸盐沉积主要表现于斜坡滩华景观的形成过程中。藻类既能在钙华形成过程中发挥作用,藻类的生长也能侵蚀破坏钙华景观,在长期缺乏岩溶水补给的条件下,藻类对钙华景观的破坏性尤为突出。

关键词:钙华;藻类;生物岩溶;四川黄龙

中图分类号:P931.5;Q949.2

文献标识码:A

钙华又称石灰华,在世界各主要岩溶地区都有分布,是岩溶地貌的重要组成部分^[1]。关于钙华的成因,学术界虽然仍存在分歧,但其所考虑的基本作用因子都是一样的,即无外乎是非生物因子(岩溶水、地貌位置等)与生物因子(主要是蓝藻、硅藻等微生物和苔藓植物)两大类^[2]。根据碳酸盐沉积过程中生物作用与无机化学的主导因素不同,钙华可分为具有生物构造的多孔状疏松的生物型灰华(Tufa)和致密、多具良好结晶并成层的结晶型灰华(Travertine)两类^[3]。生物中的钙华藻类在钙华的形成过程中重要作用,是岩溶生物学研究的重要内容^[4]。

对我国岩溶地区藻类的研究主要集中在贵州地区,例如 Pentecost, A. & Zhang, ZH^[5]对陡坡塘淡水钙华藻类进行了初步调查,发现硅藻是该区的优势藻类,蓝藻和绿藻都相对较少,并将结果与世界其他地区的研究作对比,得出此研究区大多数硅藻具有全球性。刘红敏等^[1]对兴义马岭河峡谷瀑华藻类多样性做了调查研究,结果表明此处瀑华藻类组成丰富,群落形态多样,在瀑华形成中具有重要的作用。相刚等^[4]在荔波小七孔钙华藻类多样性研究中发现藻类生态群落组成比较单一,多样性指数较低,蓝藻门可

疑席藻为单一优势种群落且其控制着小七孔钙华的形成。王智慧等^[6,7]对琵琶潭瀑布、马脚冲瀑布岩溶沉积物中生物多样性进行了研究,研究得出生物多样性在岩溶沉积形成中具有重要的地质生态学意义,其表现在为淡水碳酸钙晶体提供附着基础和岩溶沉积骨架,植物光合作用有助碳酸钙沉积,一定程度上控制和影响岩溶沉积形态。田友萍,何复胜^[3,8,9]对盘县风洞、黄果树和香纸沟等地的藻微群落生态及生物沉积作用做了考查和研究,结果表明钙华体表面发育的藻微群落多样性与钙华藻席多样性相关,而藻席的多样性造就了钙华表面的区域性小形态,并分析了生物型石灰华的成因。

除贵州区域外, Pentecost, A. & Zhang, ZH^[10]对四川九寨沟和牟尼沟的钙华植物进行了调查,结果表明研究区内钙华表面被藻类(主要是蓝藻和硅藻)和苔藓植物覆盖,并指出钙华植物与碳酸钙沉积之间存在一定关联性。傅华龙等^[11]对四川黄龙景观各种水体中的藻类做了调查研究,在结果中描述了5大藻类群落及其对应的景观颜色,主要藻类为绿藻,其次为硅藻,只少量蓝藻出现,研究中钙华藻类与生物岩溶等内容涉及很少。关于四川黄龙钙华的成因一直

基金项目:国家自然科学基金(40872197、40402004、40872168)

第一作者简介:李永新(1983-),女,在读博士。主要从事藻类生态和生物地质方面的研究。E-mail:lovelydian@126.com。

收稿日期:2008-10-24

有着不同的说法, 有人认为黄龙钙华是地壳表层地质作用高寒岩溶形成的产物, 即冷成因, 或称气候成因论^[12,13]。然而, 也有人持热成因的观点, 即认为黄龙钙华属于深部岩溶动力系统, 起源于深部来源的 CO₂^[14~17]。但形成黄龙钙华的生物因素未见相关报道。本文从钙华生物成因角度出发, 初步探讨黄龙钙华藻类特征及其在岩溶环境中的作用, 以为黄龙岩溶地貌的演化研究和保护提供依据。

1 研究概况

四川黄龙是具有“世界自然遗产”、“世界人与生物圈保护区”和“绿色环球 21”三项国际桂冠的顶级风景名胜。黄龙(东经 103°25'59"~104°8'45", 北纬 32°30'53"~32°54'17")位于四川省西北部的阿坝藏族羌族自治州松潘县境内, 岷山主峰雪宝顶的东北侧, 地处青藏高原东部, 是青藏高原向四川盆地急剧下降的两大地貌单元的一部分, 处在扬子准台地、松潘—甘孜褶皱系与秦岭地槽褶皱系三个大地构造单元的结合部。

黄龙地区由南向北地势逐渐减低, 一般海拔 3 000~4 500m, 相对高差 1 000~1 500m, 其中最低海拔 1 700m, 最高海拔 5 588m。森林覆盖率 65.8%, 植被覆盖率 88.9%, 主要植被类型为针阔叶混交林及针叶林, 土壤主要为钙华土及山地暗棕壤。研究区属典型的高原温带—亚寒带季风气候, 年均气温 1.1℃, 湿度很大。多年平均降水量 719.3mm, 每年 5 月至 10 月为丰水季节, 11 月至次年 4 月为枯水季节, 冬季无水, 5—6 月流量 0.6m³/s 左右, 8—10 月流量 1m³/s 左右^[18]。

黄龙奇特的地质地貌是在漫长的地质变化中逐渐形成的。黄龙地区古生代形成的碳酸盐岩的厚度超过 4 000m, 上覆有超过 1 000m 的中生代碎屑岩及新生代冲积砂砾、冰碛物和钙华。现在黄龙钙华主体是全新世以来形成的^[19]。在黄龙沟中除了绵延数公里的钙华体外, 还有流石和高达 1m 以上的边石坝等微地貌。

2 研究方法

笔者于 2009 年 5 月初对黄龙钙华藻类进行了标本采集, 根据不同区域内藻群落呈现不同的形态、颜色和固结状态等分别采样、拍照, 标本用小刀刮取, 放入装有 4% 福尔马林+4% 甘油固定液的采集瓶中, 同时贴上标签, 编号并记录。共采集钙华藻类标本 92 瓶, 室内光学生物显微镜(Nikon, Eclipse 80i)观察标本薄片 98 个, 镜下照片 900 张, 标本和照片现在存

放在中国地质大学(北京)地层古生物教研室。

3 研究结果

3.1 黄龙钙华藻类组成

黄龙景区钙华藻类经鉴定, 分别属于 4 个门, 19 个属, 86 种^[20~22]。从种类组成上看, 蓝藻门的种类最多, 有 15 属 82 种(其中包括 12 个变种和 2 个变型种); 硅藻门仅 2 属, 但其分布极广泛; 黄藻、绿藻只零星存在。黄龙景区钙华藻类情况见表 1。

表 1 四川黄龙钙华藻类

Tab. 1 Tufa algae at Huanglong, Sichuan Province

序号	种属名/拉丁名
蓝藻门/Cyanophyta	
1	帕斯里伪枝藻/ <i>Scytonema pascheri</i> Bharadwaja
2	单歧伪枝藻/ <i>Scytonema tolypothrichoides</i> Kütz
3	比塞伪枝藻/ <i>Scytonema bewsii</i> F. E. Fritsch
4	温泉伪枝藻/ <i>Scytonema caldarium</i> Setchell
5	蝇色伪枝藻/ <i>Scytonema myochrous</i> (Dillw.) Ag.
6	塞里伪枝藻印度变种/ <i>Scytonema saleyeriense</i> var. <i>indica</i> Bharadwaja
7	皮壳伪枝藻原变种/ <i>Scytonema crustaceum</i> var. <i>crustaceum</i> Ag.
8	拟格圆伪枝藻/ <i>Scytonema pseudoguyanense</i> Bharadwaja
9	薛氏伪枝藻/ <i>Scytonema simmeri</i> Schmidle
10	奇异伪枝藻/ <i>Scytonema mirabile</i> (Dillw.) Born
11	嗜沙单枝藻/ <i>Tolypothrix arenophila</i> W. et G. S. West
12	有边单枝藻/ <i>Tolypothrix limbata</i> Thuret
13	小单枝藻原变种/ <i>Tolypothrix tenuis</i> var. <i>tenuis</i>
14	附叶单枝藻/ <i>Tolypothrix phylophila</i> W. et G. S. West
15	伏氏单枝藻/ <i>Tolypothrix foreau</i> Fremy
16	曼格单枝藻/ <i>Tolypothrix mangini</i> (Fremy) Geitler
17	扭曲单枝藻笔形变种/ <i>Tolypothrix distorta</i> var. <i>penicillata</i> (Ag.) Lemm.
18	泡状胶须藻/ <i>Rivularia bullata</i> (Poir) Berk.
19	饶氏胶须藻/ <i>Rivularia jaoi</i> Chu
20	曼格胶须藻/ <i>Rivularia manginii</i> Frémy
21	血色胶须藻/ <i>Rivularia haematites</i> (D. C.) Ag.
22	具钙胶须藻/ <i>Rivularia calcarea</i> (Woronich) V.
23	沼地微鞘藻/ <i>microcoleus paludosus</i> (Kütz) Gom.
24	具鞘微鞘藻/ <i>microcoleus vaginatus</i> (Yauch.) Gom.
25	原型微鞘藻/ <i>microcoleus chthonoplastes</i> Thuret, Ann.
26	集合微鞘藻/ <i>microcoleus sociatus</i> W. et G. S. West
27	尖头微鞘藻/ <i>microcoleus acutissimus</i> Gardner.
28	鲍氏席藻/ <i>Phormidium bohneri</i> Schmidle
29	柄石十席藻/ <i>Phormidium rubriterricola</i> Gardner
30	寒冷席藻/ <i>Phormidium frigidum</i> F. E. Fritsch
31	软席藻细小变型/ <i>Phormidium molle</i> f. <i>tenuior</i> W. et G. S. West
32	小席藻/ <i>Phormidium tenue</i> (Men.) Gom.

续表 1

序号	种属名/拉丁名
33	栢架席藻 / <i>Phormidium treleasei</i> Gom.
34	黏液席藻 / <i>Phormidium mucosum</i> Gardner
35	粗壮席藻 / <i>Phormidium valderianum</i> (Delp.) Gom.
36	脆席藻 / <i>Phormidium fragile</i> Gom.
37	凯氏鞘丝藻 / <i>Lyngbya kashyapi</i> Ghose
38	纹饰鞘丝藻原变种 / <i>Lyngbya ornata</i> var. <i>ornata</i> Jao
39	阿氏鞘丝藻 / <i>Lyngbya allorgei</i> Frey
40	湖泊鞘丝藻 / <i>Lyngbya limnetica</i> Lemm
41	多管鞘丝藻 / <i>Lyngbya polysiphoniae</i> Frey
42	栖霞鞘丝藻 / <i>Lyngbya digueti</i> Gom.
43	胶质眉藻 / <i>Calothrix gelatinosa</i> F. E. Fritsch
44	棒状眉藻 / <i>Calothrix clavata</i> G. S. West
45	圆锥眉藻 / <i>Calothrix conica</i> Gardner
46	沙生裂须藻 / <i>Schizothrix arenaria</i> (Berk.)
47	细弱裂须藻 / <i>Schizothrix tenuis</i> Woronich
48	湖沼裂须藻 / <i>Schizothrix lacustris</i> A. Braun ex Gom.
49	两栖颤藻 / <i>Oscillatoria amphibia</i> Ag.
50	威利颤藻 / <i>Oscillatoria willei</i> Gardner
51	半狭颤藻 / <i>Oscillatoria minnesotensis</i> Tilden
52	易略颤藻 / <i>Oscillatoria neglecta</i> Lemm.
53	拟短形颤藻小型变型 / <i>Oscillatoria subbrevis</i> f. <i>minor</i> Desikachary
54	坚密粘球藻 / <i>Gloeocapsa compacta</i> Kützting Tab.
55	拉氏粘球藻 / <i>Gloeocapsa ralfsiana</i> (Harv.) Kütz
56	点形粘球藻 / <i>Gloeocapsa punctata</i> Näg.
57	壁生粘球藻 / <i>Gloeocapsa muralis</i> Kütz
58	黑色粘球藻 / <i>Gloeocapsa atrata</i> (Turpin) Kütz
59	黑紫粘球藻 / <i>Gloeocapsa nigrescens</i> Näg.
60	居氏粘球藻 / <i>Gloeocapsa kutzingiana</i> Nägeli, Gatt.
61	滴岩粘球藻原变种 / <i>Gloeocapsa stegophila</i> var. <i>stegophila</i> Rabenhorst
62	滴岩粘球藻大型变种 / <i>Gloeocapsa stegophila</i> var. <i>crassa</i> Rao, C. B.
63	镶钙粘球藻大型变种 / <i>Gloeocapsa incrustata</i> var. <i>major</i> H. W. Liang
64	巨大粘球藻 / <i>Gloeocapsa gigas</i> W. et G. S. West
65	小粘球藻 / <i>Gloeocapsa minutula</i> Näg.
66	捏团粘球藻 / <i>Gloeocapsa magma</i> (Breb) Kütz
67	皮色粘球藻 / <i>Gloeocapsa dermochroa</i> Nägeli, Gatt.
68	山地隐球藻原变种 / <i>Aphanocapsa Montana</i> var. <i>Montana</i> Gramer
69	细小隐球藻浮游变种 / <i>Aphanocapsa elachista</i> var. <i>Planctonica</i> G. M. Smith
70	细小隐球藻原变种 / <i>Aphanocapsa elachista</i> var. <i>Elachista</i> W. et G. S. West
71	栖石隐杆藻 / <i>Aphanothece saxicola</i> Näg.
72	点形念珠藻原变种 / <i>Nostoc punctiforme</i> var. <i>Punctiforme</i> (Kütz.) Hariot
73	林氏念珠藻 / <i>Nostoc linckia</i> (Roth.) Bornet ex Born.
74	沼泽念珠藻 / <i>Nostoc paludosum</i> Kütz
75	喜钙念珠藻 / <i>Nostoc calcicola</i> Breb.
76	裂褶念珠藻 / <i>Nostoc verrucosum</i> Vaucher ex Born.

续表 1

序号	种属名/拉丁名
77	池生念珠藻 / <i>Nostoc piscinale</i> Kütz
78	地木耳 / <i>Nostoc commune</i> Vauch.
79	小念珠藻 / <i>Nostoc parvulum</i> Jao
80	苍白色球藻 / <i>Chroococcus pallidus</i> Näg.
81	极小集胞藻 / <i>Synechocystis minuscule</i> Woron Biol.
82	大型集胞藻 / <i>Synechocystis crassa</i> Woronichin Mat.
硅藻门/Bacillariophyta	
83	直链藻 / <i>Melosira</i> spp.
84	桥弯藻 / <i>Cymbella</i> spp.
黄藻门/Xanthophyta	
85	黄丝藻 / <i>Tribonema</i> spp.
绿藻门/Chlorophyta	
86	链丝藻 / <i>Hormidium</i> spp.

3.2 主要藻群落及特征

从黄龙钙华藻类整体组成来看,蓝藻所占百分含量最多,占 80% 以上,其中隶属 *Tolypothrix* 属的扭曲单歧藻笔形变种 (*Tolypothrix distorta* var. *pencilata* (Ag.) Lemm.) 在群落 的数量组成中占有绝对优势;其次是硅藻,约占 15%,以桥弯藻 (*Cymbella* spp.) 为主,硅藻出现率很高,几乎分布在各种黄龙钙华表面,而黄藻门和绿藻门含量极少,出现率极低。在黄龙钙华藻类群落系统中,存在各种不同的藻群落,既有由单一藻属组成一个较简单的藻群落,也有由两种及两种以上藻属组成的颜色、形态和藻属间构成关系较复杂的藻群落。

3.2.1 单歧藻群落

多分布于坚硬钙华与松软钙华的交界生境中,藻群落种属单一,扭曲单歧藻笔形变种最多(图 1-1),伏氏单歧藻次之(图 1-2),呈黄绿色或黑色、棕黑色的丛簇状,团块状,凸起瘤状等,厚度 1~3mm。与泡状胶须藻混生群落呈棕黄色或浅棕色球状,其他附属藻还有黑紫粘球藻、黑色粘球藻、桥弯藻、纤细席藻和凯氏鞘丝藻等。

3.2.2 胶须藻群落

多出现在浅水洼处或松软钙华表面,以饶氏胶须藻与曼格胶须藻为主,多呈棕黄色、大小各异、彼此分离的球状体;附属藻为桥弯藻、两栖颤藻和鲍氏席藻。胶须藻形体较大且有基部分化,为群落的主架,附属藻不固定分布在胶须藻丝体周围,群体基部与钙华粘结紧密。

3.2.3 粘球藻群落

多采集自相对于干且坚硬的钙华表面,以黑色粘球藻(图 1-3)和黑紫粘球藻(图 1-4)居多,呈黑色的硬壳状,厚薄不等,偶尔与纤细席藻共生,小群落间虽彼此独立但分布紧密,紧贴钙华表面生长。

3.2.4 伪枝藻群落

集中出现在有流水冲刷过的干钙华表面,薛氏伪枝藻和皮壳伪枝藻原变种含量相对较多,呈黑色、黑灰色丛簇状或皮状,厚约1.5~3mm。此群落所含藻种相对单一,偶尔与黑色粘球藻共生,与钙华表面粘结紧密。

3.2.5 念珠藻群落

存在于潮湿松软的钙华表面,多以单一优势藻种构成群体,主要为林氏念珠藻和喜钙念珠藻,呈浅棕色、棕黄色的软胶团或软胶膜。

3.2.6 直链藻群落

生长在黄龙最上游静水钙华池中,硅藻门中心纲(Centricae)中少有的高山淡水藻种,呈金黄色丝状,且丝体较长,是黄龙五彩池中重要的着色藻种。

3.2.7 桥弯藻群落

主要以两种群落特征存在,在松散潮湿钙华表面呈灰黄色、土黄色、浅橘色或黄白色,藻个体分散无明显胶质柄特征(图1—5),或夹杂少许纤细席藻,与细小碳酸钙颗粒粘结在一起,无固定群落形态;在流水冲刷的钙华表面呈大面积的黄色絮状或具层棉絮状,硅藻通过大量的胶质柄彼此连接成大型群落(图1—6)。

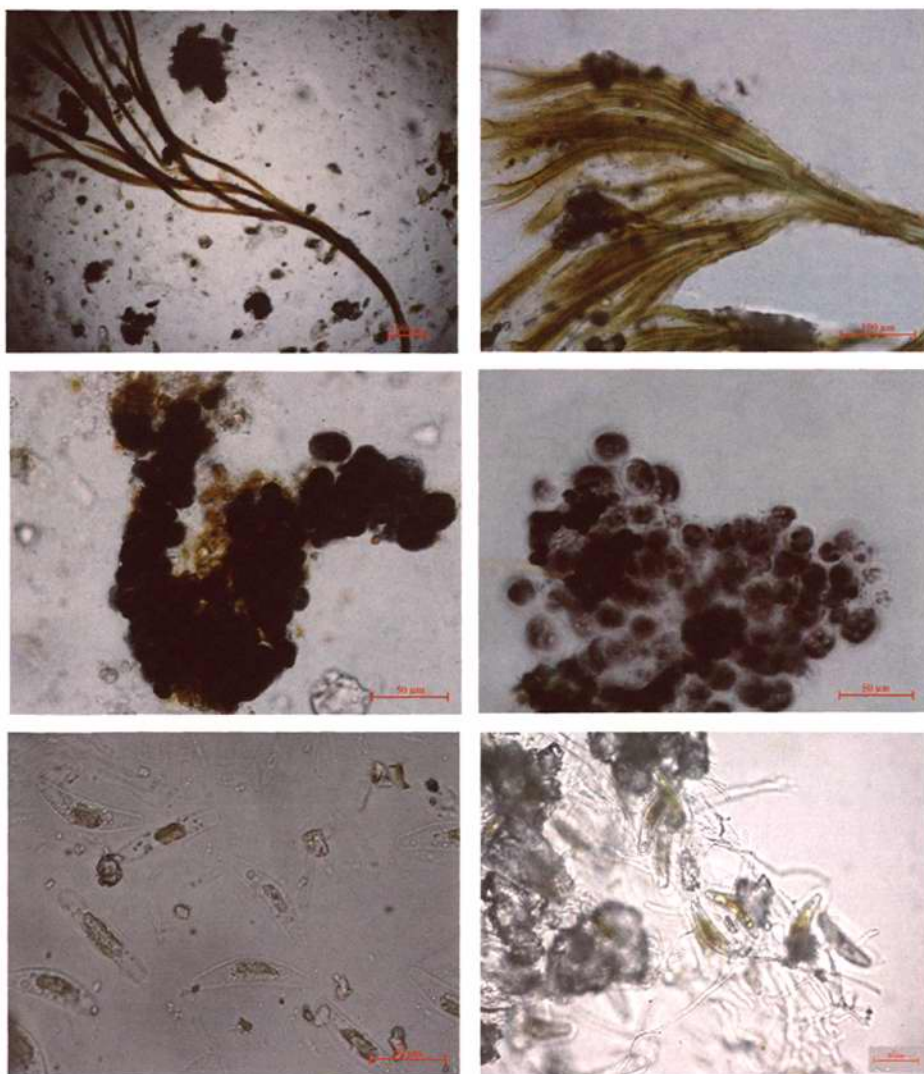


图1 四川黄龙主要钙华藻群落显微照片

Fig. 1 Micrograph of the dominant tufa algae colonies at Huanglong, Sichuan Province

1. 单枝藻群落优势种之一扭曲单枝藻笔形变种; 2. 单枝藻群落优势种之二伏氏单枝藻; 3. 粘球藻群落优势种之一黑色粘球藻; 4. 粘球藻群落优势种之二黑紫粘球藻; 5. 桥弯藻分散个体; 6. 桥弯藻及胶质柄群落

3.3 黄龙钙华藻类的生物岩溶作用

生物岩溶作用主要指生物的光合作用(新陈代谢)过程中吸收水中的 CO_2 , 导致水中 CO_2 分压降低, 使得碳酸钙在水中的溶解度降低而析出沉淀^[23]。同时有些生物能分泌大量含有粘性有机质的胶鞘, 具有粘结、捕获碳酸钙微细颗粒而富集沉积碳酸钙的作用^[2]。

生物作用影响了岩溶发育的强度和方向, 生物活动及代谢产物是岩溶动力系统的驱动力之一^[24]。藻类的生物岩溶作用尤其值得关注, 在岩溶环境下, 藻类的生长稳定和繁殖能力强^[25, 26]。尤其是喜流水的微体藻类, 极易在天然河床的原始突起上附生^[3]。

3.3.1 蓝藻参与的主要沉积

蓝藻是黄龙钙华藻类中的绝对优势藻, 其在钙华沉积过程中起着重要的作用。蓝藻是能够进行光合作用的原核单细胞藻类, 也被称为蓝细菌, 能适应地球上最恶劣的环境而生存繁衍。由于蓝藻细胞表面有一层很发育的粘性胶鞘, 因此具有很强的附生力, 成功附生后会迅速通过细胞分裂快速增殖。最初附生成功的主要是丝状蓝藻, 称之为先驱群落, 与底部基岩紧密粘结, 而后球状蓝藻等会相继出现, 构成具有一定面积和生长空间的藻席群落。通过蓝藻的光合作用、粘结、分泌、结壳和捕集等生物沉积作用, 碳酸钙直接在藻体表面进行原位沉积^[3]。长期同一位置的藻体表面碳酸钙沉积体积会不断增大, 沉积面也会相应延伸, 近似同一水平层位上的沉积彼此相连就会形成钙华坝, 钙华坝之间会积水形成彩池(图2-1)。在黄龙钙华景观中, 共有大小钙华彩池2331个, 其中争艳彩池群规模最大, 由500多个大小彩池组合而成。

黄龙钙华蓝藻主要生长在钙华坝表面, 从钙华坝底到钙华坝顶都有蓝藻群落分布(图2-2), 丝状蓝藻与球状蓝藻混生, 群落间互相嵌接, 主体呈黑色或灰黑色, 球状或小范围突起, 或连接成片状、垫状。镜下观察可见藻胶鞘外有碳酸钙沉淀, 即钙鞘现象, 这是藻类生物促进碳酸钙沉积的典型标志。藻群落与钙华基底紧密粘结, 在钙华坝表面形成一个较大规模的沉积面, 生长的同时不断接受碳酸钙的沉积。

从藻群落特征分析可以得出, 不同的藻群落在钙华坝表面形成的微结构是不同的。念珠藻群落主要附生在钙华坝基部, 以微小的球状软胶团或软胶膜存在, 与钙华体轻度粘结, 很易刮取, 镜下观察念珠藻表面碳酸钙沉积物极少; 单歧藻与粘球藻为主的混生群落主要生长在钙华坝表面的中部区域, 以丛簇状、片状或垫形态存在, 丝状蓝藻与球状蓝藻交错生长形

成面积较大的藻席群落, 为碳酸钙沉积提供较大的沉积面, 与钙华粘结紧密; 粘球藻群落主要生长在钙华坝顶部, 以壳状形态存在, 粘球藻丰富的胶鞘与碳酸钙颗粒紧密粘结, 在长期处于干枯条件下, 粘球藻群落与碳酸钙的结合体会变成干硬壳状。

3.3.2 硅藻参与的主要沉积

硅藻是分布广泛的黄龙钙华藻类, 其参与的沉积主要表现在黄龙七里金沙大斜坡, 此处钙华滩流全长2500m, 宽30~170m, 是目前世界上发现的同类面积最大、距离最长的地表滩华景观, 在阳光的照射下呈金黄色, 非常壮观。

在水流速度相对较快的滩华表面, 喜流水硅藻生长旺盛, 由于具有发达的胶质管、胶质柄的粘性结构和极高的繁殖能力, 在钙华表面形成大面积的硅藻群落^[3], 群落与碳酸钙沉积颗粒粘结在一起, 沿着水流方向在钙华表面形成大面积的具有层结构的棉絮状沉积(图2-3)。硅藻与席藻、鞘丝藻构成的群落会粘结更多的碳酸钙颗粒, 在钙华坝表面形成松软、混浊的藻钙华层, 经进一步沉积固结后形成大面积的斜坡滩华。黄龙上游五彩池的钙华坝表面也生长大量硅藻, 但未形成较大规模的群落形态, 可能是由于上游地表水所含碳酸钙很高, 钙华沉积速率较快, 不利于藻类的大面积生长。

黄龙钙华的形成并不是全部与藻类有关, 有藻类参与的钙华相对松软, 而纯粹物理化学沉积的钙华则非常坚硬, 用刀刃很难刮取, 表面没有生物生长, 如黄龙五彩池下游的石塔镇海池。钙华表面呈现不同颜色, 浅黄色可能是由碳酸钙水中混有泥沙和碳酸钙一起沉淀固结, 而纯净的钙华为白色。

3.3.3 藻类参与的侵蚀作用

藻类生物从生理过程和机械过程等方面促进了碳酸钙的沉积, 同时也在侵蚀石灰岩。藻类在夜间释放 CO_2 , 遇水生成碳酸, 可在微环境中产生溶蚀作用; 同时, 藻类的分泌物中含有乙酸, 其死亡后的遗体在微生物作用下可氧化分解成具有溶蚀作用的草酸^[2]; 此外, 当岩石表面的生物席(壳)被剥离时, 与生物席紧密粘结在一起的碳酸钙层也会被剥蚀, 因而下伏岩石则更易被溶蚀。例如黄龙中下游的钙华坝, 由于长时间处于干燥状态, 其表面的藻群落与碳酸钙的结合体会变干, 很容易与钙华基底脱离, 暴露出底层钙华, 为钙华坝风化提供了条件。

前人实验得出^[27], 与无生物覆盖的岩石相比, 有藻类生物覆盖的岩石表面吸水量提高1.6倍, 蒸发失水、主动吸水的时间分别延长48%、57%, 持水量提高16.6倍。生物在岩面的殖居、演化不仅改善了岩

面的持水性能,而且生物循环的参与加速了碳酸盐岩的溶蚀,富集了营养元素,为后期生物的生长提供了物质基础。因此,在岩溶系统中,碳酸盐生境沿着裸露岩石→藻菌、地衣群落→苔藓、蕨类植物群落→草本植物群落→木本植物群落这正向生态系统发展。黄龙景区下游的区域,如飞瀑流辉等地,瀑布钙华表面微侵蚀现象明显,藻类在钙华体表面的侵蚀形成微小的溶蚀坑,植物系统演化明显,钙华表面不仅生长藻类,还覆盖了大量苔藓(图2-4),甚至已经有高等植物存在。

在黄龙钙华的发育过程中,藻类的生长和碳酸钙的沉淀是不可缺少的。在枯水季节,钙华藻类(尤其

是蓝藻)的生长掩盖了黄龙钙华景观的本色,在岩溶水充沛的季节,大量的碳酸钙沉淀将覆盖钙华表面的藻群落,使钙华景观恢复原色。但近年来发现^[21]旅游活动使黄龙水体产生了磷污染,造成了藻类的肆意繁殖,同时沿途地表水在流动过程中不断地渗至地下,相当一部分转变成了下游地下水。由于长期缺乏岩溶水的滋养,大量藻类甚至更高等植物的生长严重影响黄龙钙华的颜色和景观的整体发育。众所周知,岩溶环境本身是一种脆弱的生态环境,极易受到人类活动的影响而恶化,一旦破坏将很难恢复,所以对黄龙环境和地下水的治理防御和宣传工作尤为重要。



图2 四川黄龙典型生物岩溶景观

Fig. 2 Typical biological karst landscapes at Huanglong, Sichuan Province

1. 同一位置藻体表面碳酸钙长期沉积形成的钙华池坝;2. 钙华坝表面的蓝藻群落;3. 滩华表面的硅藻群落;4. 瀑布钙华表面的植物群落(苔藓等)。

4 结 论

(1)黄龙钙华藻类以蓝藻和硅藻为主,绿藻和黄藻出现较少,其中优势种属为蓝藻门单歧藻属、粘球藻属和硅藻门桥弯藻属,伴生种属为念珠藻属、伪枝藻属、鞘丝藻属、席藻属、微鞘藻属和隐球藻属等。

(2)黄龙钙华形成过程中的生物因素值得肯定,

其中蓝藻和硅藻在生物沉积作用方面贡献最大。不同藻类在不同钙华景观形成过程中起到不同的作用,藻类在促进碳酸盐沉积的过程的同时也起到侵蚀破坏钙华景观的作用。

(3)近年来黄龙地表水的漏失和枯水季节的延长,直接导致碳酸钙沉积量的不足,钙华表面大量藻类(尤其是蓝藻)生长,使白色钙华变成黑色,影响了

黄龙景区的可观赏性和景观的整体发育,急需防御治理。

参考文献

- [1] 刘红敏,李杰,陈作州,等.兴义马岭河峡谷瀑布藻类多样性初步研究[J].贵州科学,2007,25(2):78-80.
- [2] 王福星,曹建华,黄俊发,等.生物岩溶[M].北京:地质出版社,1993:16-61.
- [3] 田友萍,何复胜.石灰华的生物成因研究——以四川九寨沟和贵州黄果树等地石灰华为例[J].中国岩溶,1998,17(1):49-55.
- [4] 相刚,陈稼,刘宁.荔波小七孔钙华藻类多样性初步研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2002,20(2):35-40.
- [5] Pentecost A,Zhang ZH. A note on freshwater research in China, with some observations on the algae from Doupe Pool, Guizhou Province[J]. Freshwater Forum,2001,15:77-84.
- [6] 王智慧,张朝晖,李建华.琵琶潭瀑布岩溶沉积物生物多样性研究[J].中国岩溶,2007,26(2):178-182.
- [7] 王智慧,张朝晖,李建华.石灰华扇(Tufa Fan)沉积物中的微型生物多样性[J].沉积学报,2008,26(4):670-675.
- [8] 田友萍,何复胜.贵州盘县风洞藻席蓝藻群落生态初探[J].中国岩溶,1996,15(3):233-238,300.
- [9] 田友萍,何复胜.贵州香纸沟瀑布钙华藻席研究[J].中国岩溶,1997,16(2):145-151,154.
- [10] Pentecost, A. & Zhang, ZH. The travertine flora of Juizhai-gou and Munigou, China, and its relationship with calcium carbonate deposition[J]. Cave and Karst Science,2000,27(2):71-78.
- [11] 傅华龙,韩福山,周绪纶,等.四川黄龙钙华景观中的藻类植物[J].资源开发与保护,1989,5(3):40-41,44.
- [12] 卢国平.四川黄龙—九寨沟自然风景区冷水型钙华成因的水文地球化学研究[J].矿物岩石,1994,14(3):71-78.
- [13] 周绪纶.关于四川黄龙钙华 CO₂成因的讨论[J].四川地质学报,2006,26(3):143-146.
- [14] 刘再华,袁道先,何师意,等.四川黄龙沟景区钙华的起源和形成机理研究[J].地球化学,2003,32(1):1-10.
- [15] 刘再华,袁道先,何师意.不同岩溶动力系统的碳稳定同位素和地球化学特征及其意义——以我国几个典型岩溶地区为例[J].地质学报,1997,71(3):281-288.
- [16] 刘再华,袁道先.我国典型表层岩溶系统的地球化学动态特征及其环境意义[J].地质评论,2000,46(3):324-327.
- [17] 刘再华.再论黄龙钙华的成因[J].中国岩溶,2008,27(4):488-490.
- [18] 姜泽凡,胥良,张文彬.黄龙钙华水来源研究[J].地质灾害与环境保护,2007,18(3):72-75.
- [19] 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.
- [20] 胡鸿均,李尧英,魏印心,等.中国淡水藻类[M].上海:上海科学技术出版社,1980:1-525.
- [21] 朱浩然.中国淡水藻志:第二卷色球藻纲[M]北京:科学出版社,1991:1-161.
- [22] 朱浩然.中国淡水藻志:第九卷藻殖段纲[M]北京:科学出版社,2007:1-312.
- [23] 王福星,曹建华,曹俊发.洞穴黑暗带中有无叠层石? [J].中国岩溶,1998,17(3):278-284.
- [24] 聂磊.岩溶地区石生蓝藻与岩溶发育关系研究展望[J].中国岩溶,2007,26(4):363-368.
- [25] 王倩,支崇远.硅藻碳酸酐酶对石灰岩岩溶的作用及其生态意义[J].上海地质,2007,4:25-27.
- [26] 李强,靳振江,孙海龙.现代藻类碳酸钙沉积试验及其同位素不平衡现象[J].中国岩溶,2005,24(4):261-264.
- [27] 曹建华,袁道先.石生藻类、地衣、苔藓与碳酸盐岩持水性及生态意义[J].地球化学,1999,28(3):248-256.

Tufa algae and biological karstification at Huanglong, Sichuan

LI Yong-xin, TIAN You-ping, LI Yin

(School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: To gain a clear idea of biogenic origin in the development of tufa at Huanglong, Sichuan Province, the tufa algae samples are identified and analyzed in the paper. Meanwhile, it probed into the role of tufa algae in the biological karstification at Huanglong. The results show that there are 86 species, varieties and forms, belonging to 19 genera and 4 phylum, the dominant genera are *Tolypothrix*, *Gloeocapsa* and *Cymbella*. In different environmental area at Huanglong, there are different dominant algae. The role of tufa algae in the precipitation of carbonate isn't the same at different karst landscapes. The carbonate precipitation which cyanophyta (cyanobacteria) participate in is primarily contributing to the formation of tufa rimstone. The carbonate precipitation which diatom participates in is primarily contributing to the formation of tufa slope. Besides the carbonate precipitation, algae will also corrode the tufa landscapes. Under the situation of longtime lacking karst water, the destructive effect of tufa algae is especially serious, so tufa landscapes at Huanglong is urgently need defense and treatment.

Key words: tufa; algae; biological karstification; Huanglong in Sichuan