

文章编号: 1000-0550(2012)06-1080-08

不同水动力下陆相碳酸钙沉积的蓝藻钙化试验的初步研究^①

程星¹ 石方红² 李本刚¹ 张金梅¹ 潘响亮³

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院 贵阳 550001;

2. 贵州省交通科学研究所股份有限公司 贵阳 550008; 3. 中国科学院贵阳地球化学研究所 贵阳 550001)

摘要 地表钙华,是喀斯特地区普遍存在的一种沉积体,是陆相碳酸钙沉积的重要类型。长期以来陆相碳酸钙沉积的水动力成因观点为大多数人所熟悉⁽¹⁾⁽²⁾,生物成因观点则研究较少,在实际中生物作用过程也是不可忽略的,特别是藻类的沉积作用。论文以几种典型的蓝藻为例,通过对自然界水动力条件的模拟,对蓝藻藻类进行了几种水动力条件下的碳酸钙生物沉积试验研究,对比研究了在不同水动力条件下,蓝藻钙化沉积过程。试验得出了钙藻生长与钙化沉积的最适宜水动力为0~60 rpm,在过强的水动力条件下,蓝藻的生长将受到抑制,从而降低蓝藻的钙化沉积速率。文章讨论了在瀑布条件下的陆相碳酸钙沉积是以水动力成因为主导,而在水动力条件较弱的河流中以生物成因为主导,从而提出了陆相碳酸钙沉积的水动力—生物双成因观点。文章还探讨了在静止状态下,藻类沉积对碳酸钙沉积的贡献大小,叠层石所指示的安静的沉积环境。

关键词 水动力 蓝藻 钙化沉积 影响

第一作者简介 程星 男 1959年出生 博士 教授 岩溶环境地质 E-mail: chengxing500@163.com

中图分类号 P642.25 **文献标识码** A

0 引言

地表钙华,是喀斯特地区普遍存在的一种沉积体,是典型的陆相碳酸钙沉积。关于钙华的成因,学术界虽然仍存在分歧,较为典型的有两大类,即水动力成因^[1~3]与生物(主要是蓝藻、硅藻等微生物和苔藓植物)两大基本作用成因^[4~7]。对于陆相碳酸钙的水动力成因,以张英俊、章典、程星、祝安的研究最具代表性^[1,2,7],分别提出了掺气效应、水沫效应、瀑布效应等,可谓国内陆相碳酸钙沉积水动力观点的典型。而生物的钙华沉积作用虽然早在16世纪就有人注意到了,但一直仅为少数人所接受。近年来,很多学者展开了对钙化过程的广泛研究。

蓝藻的钙化作用主要依赖于下列3个条件:

1) 碳酸钙在胶鞘上或胶鞘内的成核作用。作为粘液质,胶鞘易于吸收和陷捕钙离子,而局部较高的钙离子浓度,增加了碳酸钙在胶鞘内外的成核作用^[8]。

2) 钙化微生物的形成必须有导致碳酸钙沉淀的环境(过饱和或超饱和)条件。控制钙化的最主要的

物理化学因素是有关水体中钙离子的过饱和程度。当蓝藻在胞外进行钙化时,周围水体就会发生关于碳酸盐的过饱和^[9],从而导致碳酸盐晶体结晶。现代快速的碳酸岩沉淀仅发生在淡水(方解石)、碱性湖泊(方解石、镁方解石或文石)及超盐度岸边海湾(文石或镁方解石),这可能是由中生代钙质富有生物辐射所导致的表层碳酸盐岩过饱和值的降低所决定的^[8]。

3) 最关键的一点,必须有促使碳酸盐岩在胶鞘所限定的微环境中沉淀的方法。诸如水化学性质 pH值(上升)、碱度(下降)、温度、饱和指数等都会影响钙化的发生。在急流溪流中,蓝藻在光合作用中利用CO₂,在缓流淡水中,蓝藻利用的是HCO₃⁻,即便是较低的饱和指数,也会引起蓝藻丝体内碳酸钙的注入^[9]。

岩溶沉积陆相碳酸钙一般指地表石灰华、泉华、钙质壳、灰华坝或边石坝、洞穴沉积等,他们的沉积是一个复杂的无机与有机过程的综合结果。蓝藻在碳酸钙沉积过程中通过其物理集结作用和生理活动来发挥作用^[10]。多数研究证明,钙化类的陆相碳酸钙

^①863项目(编号:2006010623009)资助。

收稿日期:2012-02-10;收修改稿日期:2012-06-08

沉积有无机沉积和生物沉积两种类型,其中生物沉积中以藻类尤其是蓝藻的作用更为重要。因为在陆地淡水中,蓝藻是最主要的优势物种。所以展开对蓝藻钙化研究更有意义和作用。

本文对贵阳市乌当区水都花锦附近一滴水岩石壁进行采样,鉴定、分析蓝藻标本。模拟外界水动力条件进行试验研究,分析不同水动力条件对钙化蓝藻的生长与钙化沉积的影响效应,以丰富蓝藻对钙化沉积的研究成果。

1 研究方法

1.1 藻种选择

1.1.1 野外工作

(1) 钙华蓝藻采样点:

由于贵州是一个典型的喀斯特发育的地区,在贵州广泛分布有典型的喀斯特蓝藻,本研究选择在贵阳市乌当区水锦花都附近一条喀斯特河流的滴水岩瀑布作为采样点,分别在4个不同位置采样。A、瀑布旁滴水岩壁上;B、瀑布水潭边;C、瀑布浸水岩壁;D、瀑布潮湿层片状钟乳石的基质上。

(2) 标本采集

用小刀刮取附着在基质上的藻类,将采集到的标本装入采集袋,并详细记录采集日期、地点、标本号、性状描述等。

1.1.2 室内工作

利用光学显微镜,借助现代分类工具书,对藻类标本进行鉴定。鉴定的标本预先采用1%稀盐酸处理1~2h。

1.1.3 藻种选用

通过对贵阳市乌当区滴水岩瀑布钙华藻类的采集及鉴定,结合文献资料共鉴定出钙华蓝藻12种,分属于隐球藻(*Aphanocapsa*)、粘球藻属(*Gloeocapsa*)、眉藻属(*Calothrix*)、裂须藻属(*Schizothrix*)、席藻属(*Phormidium*和颤藻属(*Oscillatoria*)。采样点蓝藻的组成如下:

(1) A号采样点(瀑布旁滴水岩壁):

岩石表层为绿色、黄绿色,具颗粒状固体并伴有少量苔藓植物。

蓝藻主要为小粘球藻(*Gloeocapsa minutula* Gardner.)、颗粒粘球藻(*Gloeocapsa granosa* (Berkeley) Kütz.)、土栖隐球藻(*Aphanocapsa muscicola* (Menegh.) Will.)、铜绿粘球藻(*Gloeocapsa aeruginosa* (Carmichael) Kütz.)以及极短眉藻(*Calothrix brerissima* G. S.

West)。

(2) B号采样点(瀑布水潭边):

岩石表层为绿色、墨绿色、灰绿色、褐色,具颗粒状固体并伴有苔藓植物。

蓝藻主要为极短眉藻(*Calothrix brerissima* G. S. West)、盖氏眉藻(*Calothrix geitler* Cop.)、胶质席藻以及钙生裂须藻(*Schizothrix calcicola* (Ag.) Gom.)。

(3) C号采样点(瀑布浸水岩壁):岩石表层为墨绿色,具有不规则乳头状突起。蓝藻主要为颗粒粘球藻(*Gloeocapsa granosa* (Berkeley) Kütz.)、胶质席藻(*Phormidium gelatinosum* Woron)、泥泞颤藻(*Oscillatoria limosa* Agarh var. *limosa*)、土栖隐球藻(*Aphanocapsa muscicola* (Menegh) Will)以及拟短形颤藻(*Oscillatoria Subbrevis* Schm.)。

(4) D号采样点(瀑布潮湿层片状钟乳石):

岩石表层为绿色、墨绿色。

蓝藻主要有颗粒粘球藻(*Gloeocapsa granosa* (Berkeley) Kütz.)、胶质席藻(*Phormidium gelatinosum* Woron)、盖氏眉藻(*Calothrix geitler* Cop.)以及沉钙粘球藻(*Gloeocapsa calcicola* Gardner)。

鉴于采集样品中蓝藻与其他藻类如绿藻和硅藻等杂生在一起,且分离、培养困难,因此结合鉴定的结果采用中科院水生生物研究所淡水藻种库提供的淡水藻类进行后期试验。

1.2 藻种的培养及钙藻的选择

1.2.1 培养基配方

(1) SE Medium 培养基配方:

	试验浓度 Working solution(g/l)
NaNO ₃	0.25g
K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	0.075g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.075g
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.025g
KH ₂ PO ₄	0.175g
NaCl	0.025
Soil extract	40ml
FeCl ₃ 6H ₂ O	0.005
Fe - EDTA	1ml
A5 solution *	1ml
Distilled water	958

Soil Extract(土壤提取液)配置方法

取花园土未施过肥0.5kg,置于烧杯或三角瓶中,加入蒸馏水1000ml,瓶口用透气塞封口,在水浴中沸水加热2h,冷却数小时,在无菌条件下过滤,取

上清液,将灭菌蒸馏水加入上清液至总体积 1 000 ml。土壤提取液保存在 4℃ 备用。

* Composition of the A5 solution Add to 100 ml of distilled water:

H ₃ BO ₃	286mg
MnCl ₂ · 4H ₂ O	181mg
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	22mg
CuSO ₄ · 5H ₂ O	7.9g
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	3.9mg

EDTA—Fe 的配置方法:

将 EDTA 和 FeCl₃ · 6H₂O 分别溶于水和 HCl (0.1N) 混匀。

Na ₂ EDTA	1g
Distilled water	50ml
FeCl ₃ · 6H ₂ O	81mg
HCl(0.1N)	50ml

培养藻种: FACHB-950、FACH-898、FACHB-723

(2) BG11 培养基配方:

试验浓度 Working solution

	(g/l)
NaNO ₃	1.5
K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	0.04
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.075
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.036
Citric acid	0.006
Ferric ammonium citrate	0.006
EDTA(dinatrium-salt)	0.001
Na ₂ CO ₃	0.02
A5 + Co solution *	1ml

* Composition of the A5 + Co solution Add to 1 000 ml of distilled water:

H ₃ BO ₃	2.86g
MnCl ₂ · H ₂ O	1.81g
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.222g
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.079g
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.390g
Co(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	0.049g

培养藻种: FACHB-254、FACHB-248

1.2.2 钙藻的选择

(1) 预培养

按 SE 与 BG11 配方分别配制培养基,每 500 ml 锥形瓶中注入 200 ml 的培养基,八层脱脂棉纱布密封,高温灭菌消毒,在 SW—CJ—ID 型单人净化工作

台内冷却至室温。往每个培养器中加入 NaHCO₃,使之达到 152 mg · HCO₃⁻ /L [2.5 mM]。

接入预先购买的藻种,放入 SPX—250IC 型微电脑人工气候箱和 PYX—280Z—B 型振荡培养器中进行培养,培养至藻类对数生长期。光照强度 1 500 lux,光照周期为 14L: 10D,温度 25℃,振荡速度为 60 ~ 180 rpm。

(2) 钙藻的筛选

钙藻是一类能分泌碳酸盐和把碳酸盐粘连起来的水生植物。藻类的钙化是钙质藻类将碳酸根离子和钙离子结合成碳酸钙,使其构成藻类一部分的过程,也就是将一种形态的无机碳固定为另一种形态的无机碳的过程。

将预先培养至对数生长期的藻种,分别离心、洗涤后接种等量藻液入每一样瓶中,每样作三个平行样。将锥形瓶放入 SPX—250IC 型微电脑人工气候箱和 PYX—280Z—B 型振荡培养器中进行培养,光照周期为 14L: 10D,温度 25℃,振荡速度为 60 ~ 180 rpm。

连续振荡培养 2 周,定期取样(2、4、6、8、10、12、14d 正午)并测定培养液的 pH 值、细胞生物量,溶液中 Ca²⁺ 浓度等。试验结束后,用扫描电子显微镜(Scanning Electron Microscope)对各藻液样品进行观察,结合各种试验藻类的对数生长曲线、细胞增长率柱状图、培养基的 pH 值变化曲线以及培养基中的 Ca²⁺ 浓度变化曲线,细胞的扫描电镜图及能谱图,筛选出生长最快,钙化状况最好的蓝藻种类。

1.3 藻类生长与钙化速率的测定

1.3.1 参数的选择

水体 pH 值与藻类生长关系密切。在碳源丰富的水体中,藻类光合作用影响 CO₂ 缓冲体系,从而影响水体 pH 值。最常见的是藻类大量吸收 CO₂ 引起水体 pH 值上升,同时部分藻类对水体中有机酸的吸收和重碳酸盐的利用,也会引起 pH 的升高。水生植物的光合作用使溶解在水体内的 CO₂ 浓度降低而引起水体 pH 值的增加,从而加速碳酸钙的沉积^[4]。

因此,为测定蓝藻的钙化速率选择以下参数: pH 值、细胞生物量、细胞增长率、藻液中 Ca²⁺ 浓度、蓝藻细胞与晶体的细微结构。

1.3.2 参数测定方法

(1) 藻液 pH 值的测定

藻液的 pH 值用 PHS—25B 型数字酸度计测定。

(2) 细胞生物量的测定

采用光密度法。藻细胞生长测定以光吸收密度值 OD_{560} 为样液藻细胞生长观测值。每天定时从样瓶中分别回吸出 5 mL 样液于小烧杯静置 20 分钟, 倾取“上清液”, 充分摇匀取适量于玻璃比色皿中, 采用 UV—2000 型分光光度计在 560 nm 处进行测定, 以光密度值 OD_{560} 近似表示细胞生物量, 以 $\log(A/A_0)$ 对环境因子做出藻类的对数生长曲线。

(3) 藻细胞比增长率的计算

根据单细胞生长率计算方法计算生长常数(比生长速度), 即 $Ke = \ln(N_1/N_0)/(t_1 - t_0)$, Ke 为生长常数, N_1 、 N_0 分别表示在时间(d) t_1 和 t_0 时测得的样液光密度值。以生长对数期的 $\log(A/A_0)$ 对时间 t 作图, 线性回归, 由直线斜率即可求出生长对数期的比生长速率, 即细胞比增长率。

(4) 藻液中 Ca^{2+} 浓度的测量

将已经进行了 pH 值和细胞生物量测定的藻液用真空抽滤装置抽滤(直径为 0.22 μm 的滤膜)、稀释, 用火焰原子吸收法(PE5100PC 原子吸收光谱仪)测量 Ca^{2+} 浓度。

(5) 蓝藻细胞与晶体的细微结构的观察

培养藻液以 3 000 r/min 的转速离心 3 min 后, 用 2.5% 的戊二醛(0.1 mol/L 磷酸缓冲液配制, pH = 7.2) 固定, 以 0.1 mol/L 磷酸缓冲液洗涤 3 次, 乙醇(50% ~ 100%) 逐级脱水, 临界点干燥, 喷涂机涂碳, 最后用 JEOL—JSM—6406 扫描电子显微镜及能谱仪进行观察、扫描能谱图并拍照。

1.3.3 仪器设备

锥形瓶(500 ml)

SPX—250IC 型微电脑人工气候箱(上海博迅医疗设备厂);

UV—2000 型分光光度计(上海仪器有限公司);

PHS—25B 型数字酸度计(上海大普仪器有限公司);

GMSX—280 型手提式压力蒸汽消毒器(北京市永光明医疗器械厂);

SW—CJ—ID 型单人净化工作台(苏州净化设备有限公司);

PYX—280Z—B 型振荡培养器(广东韶关科立试验仪器有限公司);

FA—JA 型电子天平(上海精密科学仪器有限公司 FA1004N 型号)。

PE5100PC 原子吸收光谱仪(美国);

JEOL—JSM—6406 扫描电子显微镜及能谱仪;

2 不同水动力条件对 FACHB-898 与 FACHB-248 的生长与钙化的影响

2.1 试验方案

选取生长期近似的钙藻于培养容器中进行培养。控制试验共设置了四个水动力, 该水动力用振荡器来控制, 模拟不同流速的水流。振荡速度分别为 0 rpm, 60 rpm, 120 rpm, 180 rpm, 其他共有条件是光照强度(1 500 lux)、温度(25℃)、 Ca^{2+} 浓度(100 mg/l) 以及 pH8, 每样做三个平行样。在整个实验周期内, 定期(每隔 24 小时)对样品进行取样、测样, 并采用 UV—2 000 型分光光度计在 560 nm 处测定光密度值。

2.2 试验结果

从表 1 和表 2 可知, 水动力为 60 rpm 时, FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 与 FACHB-248 (*phormidium mucicola*) 获得最大光密度值, 分别为 0.883 和 0.608。以 $\log(A/A_0)$ 对环境因子做出藻类的对数生长曲线, 分别如图 1 和图 2 所示。

表 1 FACHB-898 在不同水动力下的光密度值

Table 1 OD optical density value of FACHB-898 in different water hydrodynamic condition

Days	Absorbency(mean value)			
	0 lux	60 lux	120 lux	180 lux
0	0.035	0.033	0.04	0.039
2	0.068	0.101	0.102	0.086
4	0.194	0.149	0.164	0.13
6	0.27	0.317	0.261	0.196
8	0.378	0.552	0.422	0.283
10	0.403	0.634	0.547	0.469
12	0.52	0.819	0.717	0.173
14	0.51	0.883	0.816	0.147

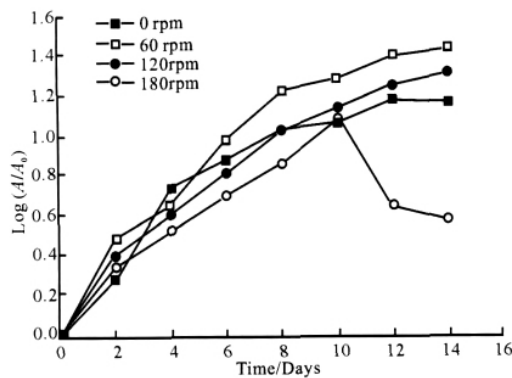
注: 以上光密度值均为三组平行样的平均值。

表 2 FACHB-248 在不同水动力下的光密度值

Table 2 OD optical density value of FACHB-248 in different water hydrodynamic condition

Days	Absorbency(mean value)			
	0 lux	60 lux	120 lux	180 lux
0	0.08	0.084	0.086	0.084
2	0.102	0.098	0.098	0.083
4	0.132	0.216	0.102	0.081
6	0.318	0.335	0.112	0.07
8	0.264	0.44	0.13	0.069
10	0.341	0.514	0.205	0.075
12	0.414	0.584	0.225	0.077
14	0.41	0.608	0.222	0.078

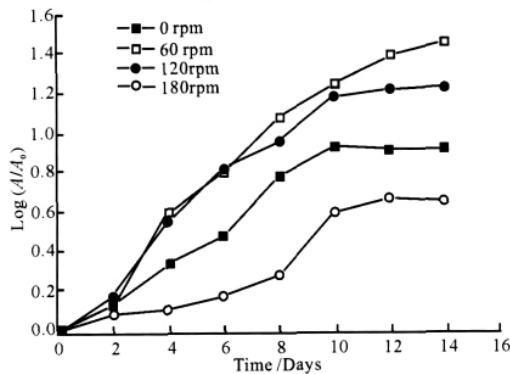
注: 以上光密度值均为三组平行样的平均值。



A: OD 值 A_0 : 初始 OD 值 (OD 值即光密度值)

FACHB-898 在不同水动力(转速)下的对数生长曲线

Fig. 1 Logarithmic growth curve of FACHB-898 OD in different hydrodynamic condition



A: OD 值 A_0 : 初始 OD 值 (OD 值即光密度值)

图2 FACHB-248 在不同水动力(转速)下的对数生长曲线

Fig. 2 Logarithmic growth curve of FACHB-248 water OD in different condition

由图 1 可知,在试验的水动力(扰动强度)范围内,随着扰动强度的增大,FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 的生长逐渐缓慢,水动力为 60 rpm 时生长最好,获得最大生物量为 1.43;细胞在水动力为 180 rpm 时生长最差,从第 10 天开始,细胞进入衰亡阶段。图 2 所示 FACHB-248 (*phormidium mucicola*) 的生长状态和 FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 基本相似,水动力为 60 rpm 时,FACHB-248 (*phormidium mucicola*) 获得最大生物量。

出现这种变化规律的原因是:振荡有利于藻类更快速更充分地吸收水中的营养物质,加快藻类的生长。从速度上看,慢速振荡优于快速振荡,速度越快,增长率越小。当水动力为 180 rpm 时,培养基的扰动强度也加大,使本来聚集在瓶底的藻类物质再悬浮,导致培养基中的悬浮物质增多,会使透入培养基中的光强减弱,因而在一定程度上会抑制藻类的生长与繁殖,因此出现了下跌趋势。

另外,对比图 1 与图 2 可以得出:实验前 2 天,FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 的生长旺盛,而 FACHB-248 (*phormidium mucicola*) 生长缓慢,说明 FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 对环境的适应性强,FACHB-248 (*phormidium mucicola*) 对环境的适应性较弱。

总之,在试验水动力下,蓝藻生长的最佳振荡速率为 60 rpm,随着振荡速度的加快,藻类的生长速度变慢。

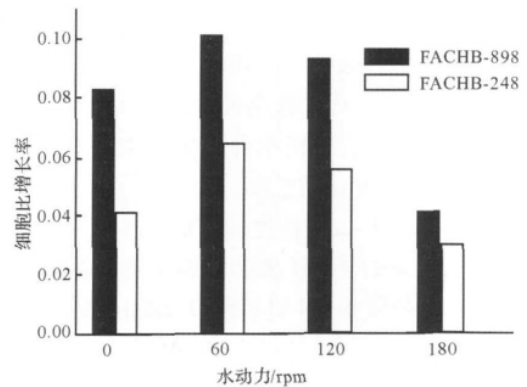


图3 FACHB-898 与 FACHB-248 在不同水动力(转速)下的细胞比增长率

Fig. 3 Cell ratio growth rate of FACHB-898 and FACHB-248 in different water hydrodynamic condition

以生长对数期的 $\log(A/A_0)$ 对时间 t 作图,线性回归,由直线斜率即可求出生长对数期的比生长速率,即细胞比增长率。从图 3 可知,在整个试验的水动力(扰动强度)范围内,FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 的细胞比增长率均大于 FACHB-248 (*phormidium mucicola*) 的比增长率。并且 FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 和 FACHB-248 (*phormidium mucicola*) 均在 60 rpm 时细胞比增长率最大;随着扰动强度(水动力)的加大,藻的增长率逐渐降低。

这验证了一定程度的风浪搅动可以有效地抑制藻类增长和聚集的结论。这是由于:搅动可使漂浮性藻类的垂向分布趋于均一,在风生层流的作用下藻类沿浓度梯度发生扩散,使得藻类水平分布也趋于均一,因而破坏原已形成的聚集分布;另外,风浪引起的水质混浊可降低水的透明度,从而通过减弱水下光强来限制藻类生长。

从表 3 可知,水动力为 60 rpm 时 FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 培养基中的 Ca^{2+} 浓度最低,其次为水动力 0 rpm 时的情况。这也清楚的从图 4 中得到验证。在试验的水动力(扰动强度)范围内,随着

扰动强度的增大, FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 培养液中 Ca^{2+} 浓度的降低幅度变小。水动力为 60 rpm 时, 培养液中 Ca^{2+} 浓度最低; 水动力为 180 rpm 时, 培养液中 Ca^{2+} 浓度最高, 降低幅度最小。

表 3 FACHB-898 在不同不同水动力下培养基的 Ca^{2+} 浓度
Table 3 Calcium Concentration of FACHB-898 in different water hydrodynamic condition

Days	Calcium Conc. (mg/l mean value)				
	0 lux	60 lux	120 lux	180 lux	control
0	100	100	100	100	100
2	77.5895	96.84809	80.9127	83.2611	97.7328
4	64.7804	69.7665	76.9446	82.5	85.1842
6	61.0091	65.1830	74.1319	72.1409	68.1423
8	63.8062	63.0082	66.6856	76.5478	67.3127
10	62.2624	56.4105	67.1899	67.1899	70.7952
12	57.8873	54.7228	63.8306	68.1322	68.3286
14	53.1356	50.2968	57.6573	65.5234	69.0262

注: 以上 Ca^{2+} 浓度值均为三组平行样的平均值, 其中 control 为参比样品。

表 4 FACHB-248 在不同水动力下培养基的 Ca^{2+} 浓度
Table 4 Calcium Concentration of FACHB-248 in different water hydrodynamic condition

Days	Ca^{2+} 浓度(mg/l mean value)				
	0 lux	60 lux	120 lux	180 lux	control
0	100	100	100	100	100
2	72.5823	77.0854	83.2936	80.4418	97.7328
4	60.0317	66.4196	82.7240	78.9287	85.1842
6	61.4563	68.1045	74.5152	68.3454	68.1423
8	51.6596	64.2464	73.3732	69.7665	67.3127
10	61.8655	65.4369	70.2713	69.5291	70.7952
12	54.9338	61.5339	67.666	67.8178	68.3286
14	47.1833	58.6071	61.5339	66.2563	69.0262

注: 以上 Ca^{2+} 浓度值均为三组平行样的平均值, 其中 control 为参比样品。

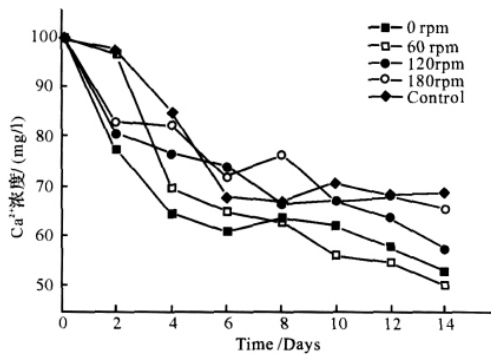


图 4 FACHB-898 在不同水动力(转速) 下 Ca^{2+} 浓度变化曲线

Fig.4 Ca^{2+} concentration curve of FACHB-898 in different water hydrodynamic condition

从表 4 可以得出, FACHB-248 (*phormidium mucic-*

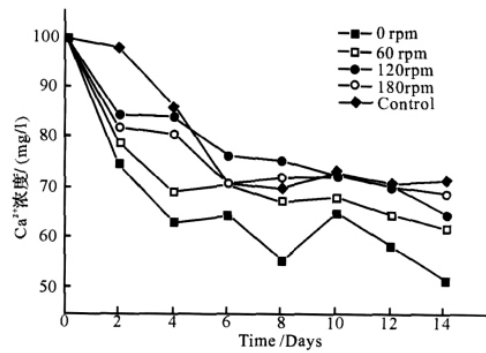


图 5 FACHB-248 在不同水动力(转速) 下 Ca^{2+} 浓度变化曲线

Fig.5 Ca^{2+} concentration curve of FACHB-258 in different water hydrodynamic condition

cola) 在水动力为 0 rpm 时, 培养基中的 Ca^{2+} 浓度最低, 其次为水动力为 60 rpm 时的情况, FACHB-248 在不同水动力(转速) 下 Ca^{2+} 浓度变化曲线如图 5 所示。是因为水动力(扰动强度) 会影响藻类的生长与聚集, 进而会影响藻类对水体中的 Ca^{2+} 吸收; 另一方面, 扰动强度也会影响瓶壁及外围岩壁对水体中的 Ca^{2+} 吸收强度。

综上所述, 当水动力介于 0 ~ 60 rpm 时, 藻类的生长速度最快, 生长状况最好, 钙化效率最好, 培养基中的 Ca^{2+} 浓度降低幅度最大, 当水动力为 180 rpm 时, 会在一定程度上抑制藻类的生长与钙化。

3 藻类因素对陆相碳酸钙沉积贡献的讨论

水动力条件对于沉积的影响主要通过掺气效应、水沫效应、高速负压效应来实现, 在高速水流情形下, 根据伯努利方程, 随着水流速度的加快, 水中压力逐渐减少, 压力的减小将导致 CO_2 的逸出, 从而加快碳酸钙的沉积; 在水流加快的同时空气进入水中, 形成“掺气效应”, 水—空界面加大很多倍^[1], 导致 CO_2 的逸出, 从而加快碳酸钙的沉积; 当水流继续增大, 可以导致水流分解成很小的水沫, 水—空界面加大很多倍^[1], 导致 CO_2 的逸出, 从而加快碳酸钙的沉积。在加速水流情形下, 水动力和藻类试验的溶液达到饱和(曲线平衡) 的时间对比见表 5, 应该具有一定的参考价值。在快速水流条件下, 不同转速下, 碳酸钙沉积趋于平衡的时间可参见图 6。

由表 5 可以看出, 对于高转速下藻类的平衡时间, 远远大于水动力条件下的平衡时间, 大约是 70 倍; 而在低转速或静止状态下, 水动力试验与藻类试

验,达到平衡的时间非常接近;反应趋于平衡反映出溶液内的碳酸钙趋于饱和,也即,在高速水流作用下,由于水动力效应,碳酸钙将快速沉积(反映出试验溶液电导度的快速降低,图6),水动力加速对碳酸钙的沉积贡献占绝对主导地位;在静止情形下,藻类的平衡时间与水动力静止状态相比接近,意味着藻类沉积的贡献份额大大地占了上风,需要指出,藻类的钙化过程在反应达到平衡以后仍然在进行,它表现为藻类生长对水中钙的汲取,静止状态下,蓝藻对钙的消耗一直进行,到了336小时水中钙浓度已从100 mg/l下降到了47 mg/l(表3、4),受平衡状态的影响较小,而在没有蓝藻的试验中,达到平衡以后碳酸钙浓度不在减少,沉积停止。因此,在静止状态下,蓝藻的沉积贡献较大。

表5 不同水动力条件下水动力与藻类实验的平衡时间参考值

Table 5 The reference equilibrium time under two situation in different water hydrodynamic condition

趋缓时间(hrs.)	0	12	60	98	120
水动力	62	4		2	
FACHB-898	96		105		144
FACHB-258	96		100		144

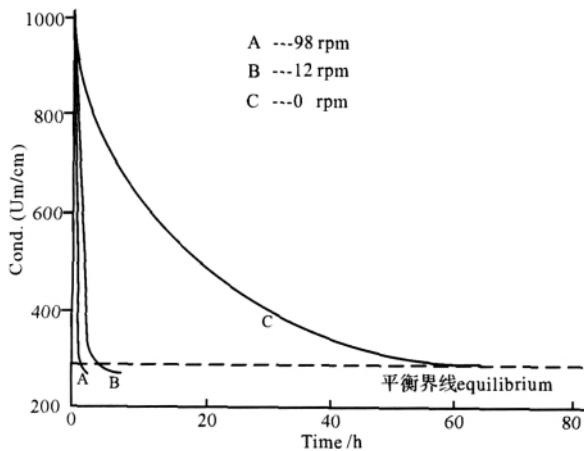


图6 不同水动力条件下溶液中钙的沉积情况
(据章典,1983)

Fig.6 Concentration curve in different water hydrodynamic condition (from Dianzhang, 1983)

4 结论

在试验的水动力范围内,当水动力介于0~60 rpm时,钙藻 FACHB-898 (*synechocystis* sp.) 和 FACHB-248 (*phormidium mucicola*) 的生长速度最快,生长状况最好,培养基中的 Ca^{2+} 浓度降低幅度最大,

钙化沉积较快。过强的水动力会在一定程度上抑制藻类的生长与钙化。

若在动荡的海洋环境下,藻类的钙化将受到抑制;试验转速在河流环境下,相当于0~19 m/s的流速,大于该流速,如在瀑布条件下,生物的钙化过程将受到抑制,但在瀑布处野外观察表明,碳酸钙的沉积速度很快,此时的碳酸钙沉积应以水动力成因为主导;而在瀑布以下河段中,流速较慢,较适合于蓝藻类的生长,在静止状态下,蓝藻的沉积可以持续进行,对碳酸钙的沉积贡献较大,此时的钙化沉积过程应以生物成因为主导。因而,研究表明陆相碳酸钙沉积过程中,在有光条件下,陆相碳酸钙沉积应为水动力及生物的双重作用的结果。

在静水条件下溢出机制微弱,碳酸钙的沉积主要由藻类进行,实验表明藻类的沉积有可能不受溶液平衡的控制而进行下去,导致水中钙离子的不断减少。同时,据此也可以推断,自然界中的叠层石有可能指示了一个安静的沉积环境。

参考文献 (References)

- 张英骏,程星. 石灰华沉积机制的实验研究[J]. 中国岩溶, 1994, 13(3): 197-205 [Zhang Yingjun, Cheng Xing. The experimental study on tufa deposition [J]. Carsological Sinica, 1994, 13(3): 197-205]
- 周忠发,程星. 石灰华水沫沉积研究[J]. 贵州师范大学学报, 1996, 15(3): 62-65 [Zhou Zhongfa, Cheng Xing. The research on tufa spray deposition [J]. Journal of Guizhou Normal University, 1996, 15(3): 62-65]
- 程星. 边石坝结构及水动力条件研究[J]. 中国岩溶, 1999, 18(2): 135-142 [Cheng Xing. Study on the structure of rimstone dams and the hydraulic conditions [J]. Carsological Sinica, 1999, 18(2): 135-142]
- 刘再华,李强,孙海龙,等. 云南白水台钙华水池中水化学日变化及其生物控制的发现[J]. 水文地质工程地质, 2005, 6: 10-15 [Liu Zaizhua, Li Qiang, Sun Hailong, et al. Diurnal variations in hydrochemistry in a travertine depositing stream at Baishuitai, Yunnan, SW China: Observations and Explanations [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005, 6: 10-15]
- 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 [Tian Youping, He Fusheng. A study on biogenetic of calcareous tufa: Take the tufa in Jiuzhaigou, Sichuan and Huangguoshu, Guizhou as an example [J]. Carsological Sinica, 1998, 17(1): 49-55]
- Pentecost A. Growth and calcification of Calothrix-dominated oncolites from Northern England [C]//Crick R, ed. Origin, Evolution and Modern Aspects of Biomineralizations in Plants and Animals. New York: Plenum Press, 1989: 443-454
- 章典, Mervyn Peart, 师长兴, 等. 喀斯特地区瀑布效应产生的自然

- 水软化过程[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 288-294 [Zhang Dian, Mervyn Peart, Shi Changxing, et al. Natural water softening processes associated with waterfall effects in karst areas [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 288-294]
- 8 华洪, 曹瑞骥. 新元古代叠层石微构造突变事件及其发生背景[J]. 古生物学报, 2004, 43(2): 234-245 [Hua Hong, Cao Ruiji. An abrupt variation event of stromatolitic microstructures in the Neoproterozoic and its origina background [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2004, 43(2): 234-245]
- 9 Martina Merz-Prei, Robert Riding. Cyanobacterial tufa calcification in two freshwater stream: ambient environment, chemical thresholds and biological process [J]. Sedimentary Geology, 1999, 126: 103-124
- 10 林秀丽, 万鑫楠. 九寨沟海子瀑布景观成因研究综述[J]. 科技情报开发与经济, 2002, 12(1): 25-26 [Lin Xiuli, WAN Xin-nan. A summary of the study on the cause of Haizi Waterfall Landscape in Jiuzhaigou Valley [J]. Science and Technological Information Development & Economy, 2002, 12(1): 25-26]

The Blue-green Algae Calcification Test Preliminary Research on Land Facies Calcium Carbonate Deposit in Different Water Hydrodynamic Condition

CHENG Xing¹ SHI Fang-hong² LI Ben-gang¹ ZHANG Jin-mei¹ PAN Xiang-liang³

(1. The College of Geography and Environment, Guizhou Normal University, Guiyang 550001;

2. Guizhou Traffic Science Institute, Guiyang 550008;

3. Guiyang Geochemical Institute, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550001)

Abstract: The surface calcification is a kind of deposit on the earth, which is an important deposit type of land calcium carbonate. For a long time, the hydrodynamic formation cause of land calcium carbonate deposit is familiar to the researchers. The research of the biological cause of the formation is relatively fewer. In fact, the biological cause should be not ignored as well, especially algaous deposit process. From imitating for field hydrodynamic force condition, taking the blue-green algae for example, the research makes a biological deposit test under the different hydrodynamic force condition. From the test, we get optimum hydrodynamic condition of algae growth and their calcification rate, that is under the rate of 0~60 rpm, under the excessive strong, the growth of blue-green algae will be restrained, and reduce the deposit rate of calcium carbonate. Under the condition of waterfall, hydrodynamic force is strong, in calcium carbonate depositing process, hydrodynamic formation cause of land calcium carbonate deposit is the lead cause; Under the weaker hydrodynamic condition, such as in river bed, biological calcification deposit will be the lead cause. Therefore, hydrodynamic-biological cause viewpoint has been proposed in the article.

From the field algaous samples, the calcium carbonate depositing test has been done under the different water hydrodynamic conditions. The test results show that under the faster water condition, most calcium carbonate will deposit very quick, and fewer algae calcium carbonate will precipitate because of adverse living environment under the condition. And under the slower water condition, because of being avail for algae's living, more algae calcium carbonate will precipitate, and few calcium carbonate will deposit under the condition without algae. Also, under the motionless condition, contribution of calcium carbonate deposit have been compared in the article between the algaous environment and without algaous environment.

The article presents, while without algaous, under the motionless condition, the calcium carbonate depositing is controlled by liquid equilibrium state, over saturation liquor will keep the deposition going, unless the liquor is saturated. But, while algaous join, under the motionless condition, the calcium carbonate depositing may not be controlled by liquid equilibrium state, algaous calcium carbonate deposit will keep going even if it is saturated.

So, under the faster flow condition, without doubt, fast flow makes CO₂ in liquor overflow, calcium carbonate will deposit in quantity, while the contribute from algaous calcium carbonate deposit is few. Under the motionless condition, Mechanism of CO₂ overflowing almost disappear, or weak, corresponding calcium carbonate deposit is few, and algaous calcium carbonate deposit is main. Then, in nature, largely stromatolite may indicate a quiet deposit environment.

Key words: hydrodynamic; blue-green algae; calcification deposit; influence