

地表喀斯特沉积中藻类作用的观察研究

张 捷

(南京大学大地海洋系)

提 要: 本文通过对我国、南斯拉夫及英国的一些典型地表喀斯特沉积样品的微观观察(偏光显微镜及扫描电镜观察),并综合前人成果,讨论了多种陆相淡水碳酸盐沉积物(石灰华、藻微礁、钙壳核、荒漠叠层石及钙结壳等)沉积过程中藻类(蓝藻、硅藻、绿藻、红藻及轮藻的)钙化作用(充填、结壳及代换作用)、捕获和粘结作用、同化作用和分泌作用,并提出了一种地表喀斯特沉积中新的藻类作用的可能类型——构架作用(shoring effect)。

主题词: 地表喀斯特沉积 藻类作用 构架作用

藻类在地表分布极广,种类繁多。随着近年来生物喀斯特研究的兴起,藻类在陆相碳酸盐沉积的重要类型——各种喀斯特沉积中的作用日益为人们所认识和重视。一些地表碳酸钙沉积具有显著的地貌建设作用并成为十分珍贵的旅游资源,例如南斯拉夫的Plitvice国家公园,我国川西北的九寨沟和黄龙寺,都是以大型地表石灰华沉积地貌为风景主体的著名旅游区。因此对地表喀斯特沉积中藻类作用的探讨显然具有实践意义;同时这也是沉积学、生物学及地貌学之间的边缘研究领域,具有一定的理论意义。

藻类可以参与多种地表喀斯特沉积,包括石灰华(Tufas and Travertines),藻微礁(Algal Microreefs)、叠层石(Stromatalite)、核形石(Oncolites,或称藻灰结核 Algal Nodules)、钙豆粒(Pisoliths)及钙结壳(Calcrete)。本文拟以几个典型地表喀斯特沉积地区为实例,通过对所采集的样品的微观观察并综合前人的已有成果,探讨地表碳酸盐沉积中藻类作用的现象及性质类型,以补充国内这方面工作的不足。不当之处,请专家同行指正。

一、野外及室内观察分析

本文涉及的工作区有川西九寨沟、南斯拉夫Plitvice国家公园和Komatevra以及英国牛津郡的Priory Mill的石灰华沉积区。现分而述之。

1、九寨沟工作区

九寨沟地区位于四川省南坪县境内,区内自中泥盆统至下二叠统的出露地层中灰岩累计总厚度可达2517m。大规模的石灰华沉积在区内形成了众多的大型建设性地貌,包括灰华瀑

布, 多级灰华堤堰及多级梯湖(即灰华堰塞湖, 有100多个), 集中分布于海拔2200—2800m范围之间的谷地中。区内分布的众多藻类, 以硅藻为最, 其次是绿藻和蓝藻^[1]。野外观察可知, 区内的灰华大多具疏松多孔状的生物结构构造, 多呈灰褐或暗绿色; 扫描电镜观察可知, 灰华表面的暗绿色或浅绿色系表面藻类(主要是硅藻)覆盖之故。灰华沉积常可环绕树枝(图片1)*或依附苔藓类植物体。扫描电镜下观察, 石灰华表面附有小环藻(*Cyclotella*)及舟形藻科(*Naviculiaceae*)、异极藻科(*Gomphonemaceae*)、桥弯藻科(*Cymbellaceae*)的种属(图片2、3)以及蓝藻, 并可见藻类的个体与碳酸钙晶粒互相嵌生、互相组合而构成具微孔隙的石灰华体(图片3), 同时也可见到石灰华体表面由藻类分泌的粘液, 由于样品制备过程中收干抽真空后呈片状(图片9)。藻类在灰华表面的覆盖有时可十分密集, 如异极藻群落可基本覆盖全部的灰华表面(图片4); 但在石灰华内部则略有变化, 硅藻藻体可占灰华体积的30%左右。丝状蓝藻同样可以在灰华中见到, 如区内所采集的附生灰华的磨片观察(图片5、6)表明, 该灰华具有良好的藻生结构, 藻类初步鉴定为胶须藻(*Rivularia*), 这一灰华样是与藻类捕获粘着作用相关的, 藻丝间以方解石泥晶为主, 可能间有有机质杂质。此外, 在川西北岷山地区的灰华沉积中还可见到轮藻(图片7)。

2、Plitvice地区

Plitvice 国家公园位于南斯拉夫克罗地亚共和国境内的第纳尔型(Dinaric)喀斯特区域内, 为欧洲著名旅游区, 以其十数个大型灰华堰塞湖和建设性瀑布著称, 被联合国教科文组织定为“世界自然遗产”, 基本景观与我国九寨沟十分类似。区内地层为三叠系及侏罗系产状较平稳的肉红色或浅色致密纯净的石灰岩, 总厚度及单层厚度都较大。域内喀斯特现象十分发育, 在谷坡上发育了众多的漏斗及竖井, 山体中并有溶洞发育, 石灰华堆积于海拔480—650m的峡谷中, 谷底可见地下河出口。石灰华沉积规模大, 呈深灰色、土黄色或墨绿色, 多依附于植物体上。藓类、藻类是起作用较大的植物, 灰华沉积中有多种硅藻, 包括舟形藻、异极藻、桥弯藻、小环藻及脆杆藻(*Fragilariaceae*)科的种属(图片8)。藻类分泌之粘液所占体积比例较大, 收干后呈藻膜片状(图片9), 是灰华干燥后空隙的主要组成。除了粘液外, 藻类生物也占相当大的比例(图片10), 并且可与方解石晶粒共存(图片11)。从样品观察可知, 藻类生物体及其分泌粘液在灰华沉积中起着一种支撑灰华体并形成多孔隙的特殊作用, 并且其本身也成为灰华组成体的一部分。类似现象在南斯拉夫斯洛文尼亚的Krka河中灰华堤堰的灰华样品中也可见到(图片12), Krka河中灰华样具多种硅藻与方解石共存。

3、Komatevra地区

该点位于南斯拉夫距奥地利边境1.5km处海拔1050m阿尔卑斯余脉的山坡上, 由于泉水出露沿泉口在山坡上发育了大规模的泉华扇状体, 并可见沿坡面洼地处有0.5m左右的微型灰华堤堰。灰华体最厚处为25m, 内部有洞穴存在。灰华体中可见明显的苔藓类的组构。据所采样品磨片镜下观察, 可见石灰华内部由于藻类的结壳作用所形成的结构, 主要是方解石沉淀中残存的藻丝孔, 其中藻体已经消失(图片13、14)。这些微孔聚集共生, 每个孔洞的直径约40 μ m。纵剖面上可见众多藻孔呈放射状(图片15)或平行状(图片14)定向排列。这种

* 图片1—7, 见图版I, 图片8—15, 见图版II, P.111—112。

藻孔不同于钻孔藻类钻孔作用所形成的钻孔。其内部的方解石矿物结晶性质与藻体相关，方解石晶体沿藻丝定向排列（图片14），且晶形非自形，受藻丝影响。这种藻孔结构形成于过饱和泉水环境中。

4、英国牛津郡西北部Priory Mill

该处灰华沉积发育于林木覆盖的谷底水沼地，最宽处225m，厚1—3m，顺谷延伸450m。灰华现代沉积部位仅在谷底水流经过处。上游源泉在侏罗系上统灰岩（Chipping Norton灰岩）层中由于下伏泥岩层（Lias Clay）隔水而出露，并沿沟谷底沉积灰华，灰华在沟中时断时续。灰华沉积可在沟谷中形成小型灰华堤堰（横向延伸1.5m左右）、藻核形石及藻微礁。扫描电镜观察，仍可见硅藻沉积于表面，同时还可见其它微生物及藻类。

5、川西黄龙寺

与上述各点的藻类作用作对比观察的黄龙寺石灰华沉积，在水源成分、沉积结构构造上以及结晶性质等方面都与前述几个点的灰华有较大的差异，其内部结构等与洞穴化学沉积相类似，方解石结晶良好。

二、藻类作用的讨论

根据目前已有研究成果及笔者工作，可将各种环境下陆地淡水碳酸盐沉积及相关藻类归纳成表1。

表 1 陆地淡水碳酸盐沉积及相关藻类
Terrestrial freshwater carbonates and related algae

环 境	沉 积 物		相 关 藻 类
地表水体（河、湖）	石 灰 华	生物型灰华	硅藻、蓝藻、绿藻、轮藻
		结晶型灰华	蓝藻等
	藻 微 礁		蓝藻、轮藻、绿藻
	钙 壳 核	钙豆粒	藻类
		藻核形石	蓝藻、绿藻、硅藻、红藻
洞 穴	石钟乳等		绿藻、蓝藻（？）
地 表	荒漠叠层石		蓝藻
土 下	钙结壳		土壤蓝藻

不难看出，蓝藻、绿藻、硅藻、轮藻、红藻等均可作用于陆相淡水碳酸盐沉积，或者参与这种沉积。通常讨论藻类对碳酸钙沉积的作用，较常涉及到的术语有钙化作用（Calcification）、捕获和粘结作用（Trapping and Binding）、结壳作用（Encrustation）、成核作用（Nucleation）和分泌作用（Secretion）等（表2）[2-12]，如Schneider（1977）在讨论

微生物的作用时讨论了捕获和粘结作用、胶结作用、结壳作用及粘液内的分泌作用〔3〕。

1. 钙化作用

钙化作用是最常见的术语之一，然而实际上却是一个较含糊的概念，通常是指各种造成碳酸钙沉积的生物构造的作用，包括碳酸钙代换藻丝的作用，既包括沉淀于藻丝表面（结壳作用）也包括沉淀于藻丝内（充填作用）的过程，一般着眼于CaCO₃沉积或沉淀的结果，而不涉及这种现象的性质（是物理过程、化学过程、还是生理过程）。有的研究者将钙化藻丝上方解石的继续淀积充填过程也算作钙化过程的继续，并认为藻类的钙化作用在喀斯特胶结过程中起着重要的积极作用〔2〕。

表 2 藻类及其碳酸盐沉积作用（据文献〔2-12〕归纳）
Algae and their effects on carbonate sedimentation

藻 类		沉积作用、沉积物
蓝藻	裂须藻属 (Schizothrix)	钙化作用形成坚实的核形石 微晶方解石结壳作用形成藻微礁 层流水环境，石灰华
	胶须藻属 (Rivularia)	藻类粘液中碳酸盐分泌作用，藻微礁 层流水环境下，石灰华
	颤藻科 (Oscillatoriaceae)	结壳、捕获作用，石灰华
	双歧藻属 (Scytonema)	藻鞘上的方解石成核作用 层流、渗流水中，石灰华
	鞘颤藻属 (Lyngbya)	藻鞘上的方解石成核作用
	席藻属 (Phormidium)	藻丝钙化，松软之核形石
	肩藻属 (Calothrix)	藻丝钙化，松软之核形石
	双须藻属 (Dichothrix)	藻丝钙化，松软之核形石
	胶囊藻属 (Gloeocystis)	洞穴钟乳石
	土壤蓝藻	土壤环境中，藻丝鞘内细菌CaCO ₃ 淀积
蓝 藻		藻类分泌粘液起捕获、成核、结壳作用，石灰华
绿藻：胶毛藻 (Chaetophora)		具放射藻丝结构之藻微礁
链瘤藻属 (Gongrosira)		组成钙结核或称核形石
硅 藻		灰华形成中的结壳作用及捕获作用 粘液分泌起捕获、成核、结壳作用，河湖石灰华
轮 藻		结壳作用，藻微礁
红 藻		红藻核形石
土壤藻类（蓝藻等）		钙结壳中钙化藻丝

2. 结壳作用

Schneider (1977) 认为蓝藻、绿藻可以在藻丝表面结上一层碳酸钙壳，这种 淡水环境

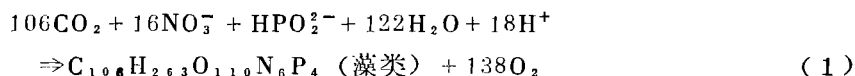
下的方解石结壳或多或少在藻类的衣鞘外定向生长^[3]。前文Komatevra泉华中即可见结壳现象(图片14)。据研究,藻微礁中表生蓝藻藻丝的胞外碳酸钙结壳作用具一定的结构,可以进行分层^[4]。据笔者所采样品观察(图片14、15、16),结壳作用所形成的方解石结晶性质受藻丝控制,呈定向排列,与藻丝延伸方向一致,就该样品而言,结壳作用仅是一种水体中 CaCO_3 析淀的产物,因该处灰华结晶性质及现代环境都表明这种结壳作用为地表过饱和水体中 CaCO_3 快速析淀的产物。总之,结壳作用是指方解石围绕藻体沉淀生长而不改变藻体成分的一种过程,具体属性尚待探讨。

3. 分泌作用

分泌作用是另一类 CaCO_3 绕藻体沉积的过程,是一种涉及生理过程的化学作用。据研究,方解石可从粘液中分泌出来淀积于包围在粘液中的藻丝衣鞘上^[8]。植物分泌有机酸过去通常被认为是有利于溶蚀作用(CaCO_3 沉淀的逆反过程)的过程,然而Emeis等(1987)的研究却表明:藻类富含天氨氨酸的粘性分泌物乃是碳酸钙沉淀之必需^[10]。

4. 同化作用

同化作用是藻类的一种基本生理过程。水体中藻丝间的微环境中,由于藻类的同化作用,pH值可升高至10以上并导致方解石淀积^[8]。据研究,藻类光合作用(即同化作用)可有如下的近似计量方程^[13]:



吴庆余(1987)在实验室内利用 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 饱和溶液进行密封条件下藻类培养的实验,可以产生 CaCO_3 沉淀^[14],虽然这还与自然界开放流动的水体环境差异较大,但仍是藻类同化作用促进 CaCO_3 淀积的证实。对水生植物的光合作用而言,尽管通常水中仅存少量自由 CO_2 ,但大多情况下 CO_2 以 HCO_3^- 的形式存在和贮存着,当自由 CO_2 为水生植物吸收后,更多的 CO_2 从 HCO_3^- 中释放,这就影响了水体中 $\text{CaCO}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 体系的平衡并导致碳酸盐沉积。据研究,含钙水中高速光合作用通常伴有灰泥(Marl,即方解石微晶)淀积结壳于植物枝体上^[15]。在九寨沟内的灰华沉积区段,水体中 HCO_3^- 离子含量由于水生植物(包括藻类)的同化作用而从上游到下游明显降低,如诺日朗瀑布上游镜海为201.14mg/l,瀑下则为190.73mg/l,树正瀑布的上游为191.89mg/l,下游则为184.95mg/l。轮藻(Charophyta)是一种大型藻类,其枝体表面的钙壳是其本身光合作用及生存于其表面的光自养生物的生命过程所致^[4]。据样品观察,轮藻表面的 CaCO_3 淀积,内部为微晶,向外逐渐变为具有一定纹层的方解石结壳层(图片7)。这种现象表明植物体上的 CaCO_3 淀积的形成过程是一个复杂的过程,在最初形成过程中的作用与后期的,可能有阶段之分。

5. 成核作用

水中方解石的淀积是一个复杂的相变过程,水体中存在的 不均匀因素(异物、异质微粒、河流边界等),有效地降低了 CaCO_3 成核时所必须的相变能位垒,在方解石晶核形成过程中起籽晶作用^[16]。藻类无疑是具有这种籽晶作用的。石灰华沉积过程中藻类等植物可成为方解石沉淀的“晶核”^[17]。然而也有的研究表明,方解石在藻鞘上的成核现象这种过程并不特别有效,说明这种过程是一被动过程^[8]。

6. 捕获和粘结作用

藻类的藻丝及粘液对水中悬浮的方解石微粒可起捕获作用和粘结作用，这是一个机械过程，对淡水中灰华沉积及藻微礁沉积起着重要的作用^[3、4]。Emeis等(1987)的研究表明，大量硅藻和丝状蓝藻可对方解石微晶起胶着作用（Glue-on effect）和捕获作用^[10]，这种胶着作用实际上与粘结作用（binding）是基本一致的。

综上所述，钙化作用、结壳作用均是指与藻类生物相关并形成具有藻类作用痕迹的碳酸盐（CaCO₃）沉积作用，两者的区别在于藻类生物本身是否被CaCO₃充填或代换。碳酸钙在藻类表面的淀积或沉积，有的是直接与藻类生命活动过程相关的（如分泌作用）；有的则只是由藻类生物体通过被动的形式参与沉积作用并留下痕迹，与藻类生命过程并不相关。因此可以将前一类称为藻类对喀斯特沉积的主动作用；后一类则为被动作用。另有一种过程则是藻类生物的生理过程，虽然不直接形成CaCO₃，但却可以促进碳酸钙沉淀，如同化作用，可称之为藻类的促进作用。

通过对所采集的样品观察，可见现代灰华表面分布藻类（硅藻、蓝藻），并见藻类及其粘液与方解石晶粒相嵌（图片3、10—12）；灰华内部也常可见粘液胶质（图片8、9、10）。除了结壳作用和可能存在的分泌作用（图片13—15）以及粘结捕获等作用（图片5、6）外，从样品观察可知，藻类至少还可以通过两个方面参与或影响灰华沉积：首先是藻体本身作为灰华的重要组分占据了灰华体积的相当大的比例，其次是这种藻类及粘液可以作为方解石依附的骨架并导致形成疏松多孔的性质（图片10）。这种作用基本上是一种被动的机械和物理的促进作用，这里称其为架构作用（Shoring Effect），这是一种综合作用，在此过程中包括了粘结、捕获和成核等作用。

将藻类在碳酸盐沉积中的各种作用总结如表3。应该说明，在具有藻类作用的碳酸盐沉

表 3 藻类生物喀斯特沉积作用类型
Types of algal effects on karst deposition

	物 理 的	化 学 的	生 理 的
主动作用		分 泌 作 用	
促进作用	构架作用	同 化 作 用	
被动作用	捕获和粘结作用，构架作用，成核作用	钙化作用（充填作用、结壳作用、代换作用）	/

积物（石灰华等）的沉积过程中，各种作用类型通常是同时起着综合作用的，很难一一严格区别，而一些观察结果表明这种沉积过程可能是有阶段之分的。藻类作用形成的特殊构造，尤其是微观形态（包括沉积物表面及内部的微观形态、结构和构造）与各种特殊作用有一定联系，因而是分析藻类作用的基本证据之一。

三、结 论

本文主要通过微观形态观察（扫描电镜及偏光显微镜）对地表喀斯特沉积中藻类作用进

行了初步系统的讨论,综合几个典型地区的工作结果及前人成果可得到如下结论:

1. 多种藻类参与了陆地碳酸盐沉积,包括蓝藻、硅藻、绿藻和红藻以及轮藻等大类,所涉及的沉积物有石灰华、藻微礁、钙壳核(钙豆粒及藻核形石)、叠层石及钙结壳等,发生于淡水环境(河流、泉口、湖泊)、地表环境、洞穴环境及土壤环境,这是生物喀斯特研究的一个重要方面。

2. 藻类作用类型可以分成主动作用、被动作用及介于其间的促进作用,具体包括钙化作用(结壳、充填及代换)、捕获和粘结作用、成核作用、同化作用和分泌作用以及构架作用。

3. 构架作用是指作为灰华沉积组分的藻体本身及其分泌粘液作为方解石沉淀的依附并导致形成灰华疏松多孔隙特征的作用,是一种综合作用。

4. 藻类作用常具有综合性,即多种作用是同时共同进行的,而藻体表面方解石淀积可能具不同阶段。特殊的藻类作用常可形成特殊的超微结构构造,因而藻类作用所形成的微观形态可以反映其作用类型的性质,是分析藻类作用的基本证据。

〔致 谢〕 本文撰写过程中曾得到导师任美铨教授、包世生教授的精心指导,南京大学生物系朱浩然教授对笔者热情鼓励并提供宝贵参考资料,野外工作得到中英友好奖学金资助及British Council牛津分部及萨格勒布分部的资助,室内工作曾得到牛津大学地理系Viles博士的精心指点,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 〔1〕 包少康、谭明初、钟肇新.四川九寨沟自然保护区藻类植物调查.西南师范大学学报,1986, 3; 56-71
- 〔2〕 Jones, B., Kahle, C. F.. Dendritic calcite crystals formed by calcification of algal filament in a vadose environment. J. of Sed. Petrology, 1986, 56(2): 217-227
- 〔3〕 Schneider, J.. Carbonate construction and decomposition by epilithic and endolithic micro-organisms in salt and freshwater. In: Fossil Algae (Edt. by Flugel, E.), Springer-Verlag, Berlin and New York, 1977, 248-260
- 〔4〕 Schneider, J. et al.. Algal micro-reefs-Coated grains from freshwater environment. In: Coated grains (Edt. by Peryt, T. M.), Springer-Verlag, Berlin and New York, 1983, 284-298
- 〔5〕 Riding, R.. Cyanoliths (Cyanoids) -Oncoids formed by Calcified cyanophytes. In: Coated grains (Edt. by Peryt, T. M.), Springer-Verlag, Berlin and New York, 1983, 276-283
- 〔6〕 Pentecost, A., Lord, T.. Postglacial tufas and travertines from the Craven District of Yorkshire. Cave Science, 1988, 15 (2): 15-19
- 〔7〕 Julia, R.. Travertines. In: Carbonate depositional environment (Edt. by Scholle, P. A. et al), AAPG Memoir vol. 33. AAPG, Oklahoma, 1983, 64-72
- 〔8〕 Pentecost, A., Bauld, J.. Nucleation of calcite on the sheaths of Cyanobacteria using a simple diffusion cell. Geomicrobiology Journal, 1988, 6; 129-135

- [9] Johnson, J. H., Lime-secreting algae from the Pennsylvania and Permian Kansas. Bull. of Geol. Soc. Amer., 1946, Vol. 55: 1087-1120.
- [10] Emeis, K. C. et al., Travertine formation in Plitvice National Park, Yugoslavia. Chemical versus biological control. Sedimentology, 1987, Vol. 34: 595-609.
- [11] Peryt, T. M., Classification of coated grains. In: Coated grains (Edt. by Peryt, T. M.), Springer-Verlag, Berlin and New York, 1983.
- [12] Klappa, C. F., Calcified filament in Quaternary Calcrets, organo-mineral interactions in the subaerial vadose environment. J. of Sed. Petrology, 1979, Vol. 49: 955-968.
- [13] 莱尔曼, A. (主编). 湖泊的化学, 地质学和物理学 (王苏民等中译本). 北京: 地质出版社, 1989, 313-314.
- [14] 吴庆余, 藻类生物与自然界 CO_2 循环的生物地球化学. 大自然探索, 1987, 6(3): 43-47.
- [15] Maitland, P. S., Biology of freshwaters. Blackie, Glasgow and London, 1978, 20-22.
- [16] 周寅康, 九寨沟钙华成因的研究. 地理, 1989, 2(3): 42-48.
- [17] 张捷, 九寨沟地区喀斯特特征的初步研究. 地理, 1989, 2(3): 35-41.

OBSERVATION ON ALGAL EFFECTS ON SUBAERIAL KARST SEDIMENTATION

Zhang Jie

(Dept. of Geo and Ocean Sciences, Nanjing University)

Subject terms: algal effects, subaerial karst deposits, shoring effect

Abstract

With optical microscopic and Scanning Electronic Microscopic observation on subaerial karst deposit (terrestrial freshwater carbonates) samples from NW. Sichuan, China, Yugoslavia and England, and with bibliographical review, I discussed algal effects which include calcification (encrustation, infiltration and substitution), trapping and binding effects, assimilation and secretion on the processes of terrestrial freshwater carbonate sedimentation like tufas and travertine, algal micro-reefs and coated grains etc. Some algae were related to various freshwater carbonates as a result of my observation. Based on the observation, a new proposed algal effect—Shoring effects was also presented in the paper. The algal effects on subaerial karst sedimental processes have been classified. Shoring effect is a synthesis mechanism in which algae and their secreted mucus play an essential role. In the process, algae and the mucus play roles both as component of deposit and as shores to support precipitated calcite. Shoring effect causes micro-porosity of carbonate deposits.

In conclusion, it is very common for algae to exist in various types of freshwater terrestrial carbonate deposits. All of algal effects can be classified into three groups named as active, promoting and passive ones. Micro-morphology or micro-fabrics of subaerial karst deposits can be a kind of key for people to understand the algal effects on its formation.

图版说明

图片1 (S1): 九寨沟内石灰华绕依树根沉积。

图片2 (S2): 九寨沟灰华表面之硅藻(小环藻)。扫描电镜, 图中标尺长25 μm 。

图片3 (S3): 灰华沉积中硅藻(桥弯藻、舟形藻)与碳酸盐沉积互嵌现象。扫描电镜, 标尺: 15 μm 。
采样点: 九寨沟。

图片4 (S4): 九寨沟石灰华表面异极藻群落。扫描电镜, 标尺: 86 μm 。

图片5 (S5): 九寨沟石灰华中的藻类构造。藻初步鉴定为胶须藻。单偏光, 标尺如图示。

图片6 (S6): 同图片5。正交偏光, 标尺如图示。

图片7 (S7): 川西北灰华中的轮藻。单偏光, 标尺如图示。

图片8 (S8): 南斯拉夫Plitvice灰华中硅藻与碳酸钙互相嵌生, 并可见粘液。扫描电镜, 标尺如图示。

图片9 (S9): 南斯拉夫Plitvice灰华中胶质粘液(藻类等分泌物)因真空制样而干燥成片状格状形态。扫描电镜, 图上标尺60 μm 。

图片10 (S10): 藻类的存在所起的构架作用。扫描电镜, 图上标尺100 μm 。样品采集地: Plitvice。

图片11 (S11): 藻类构架作用的细部形态。样品产地: Plitvice。扫描电镜, 标尺: 88 μm 。本图还可见方解石绕藻类生物体的成核现象。

图片12 (S12): 南斯拉夫Krka河中石灰华表面硅藻与方解石等共同组合。扫描电镜, 标尺长50 μm 。

图片13 (S13): Komatzevra灰华中藻类作用的痕迹, 横断面。正交偏光, 标尺如图示。

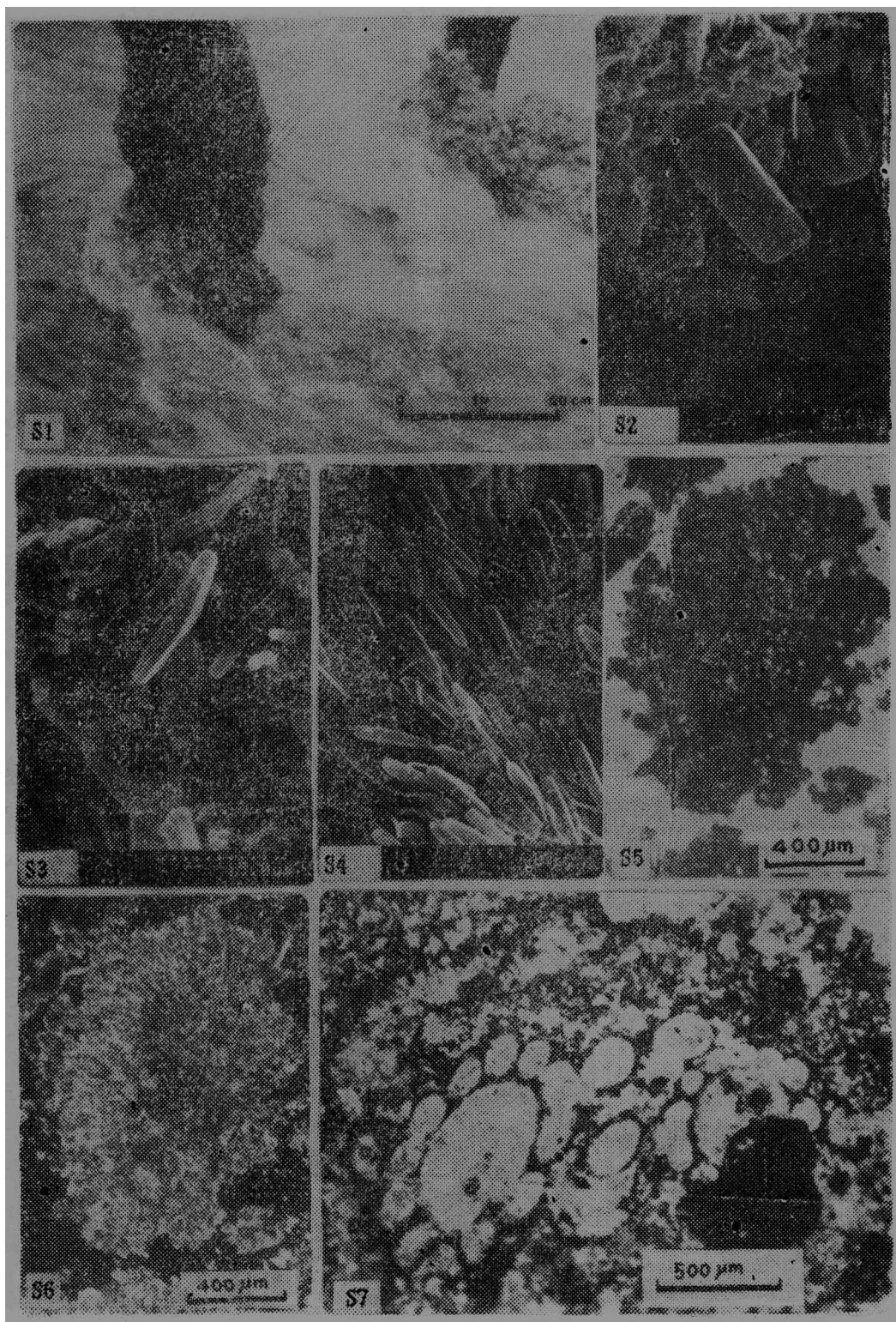
图片14 (S14): 同上, 纵断面, 方解石晶质受藻孔影响。正交偏光, 标尺大小如图示。

图片15 (S15): 同13, 可见分解石呈放射状绕藻类的结壳作用。单偏光, 标尺如图。

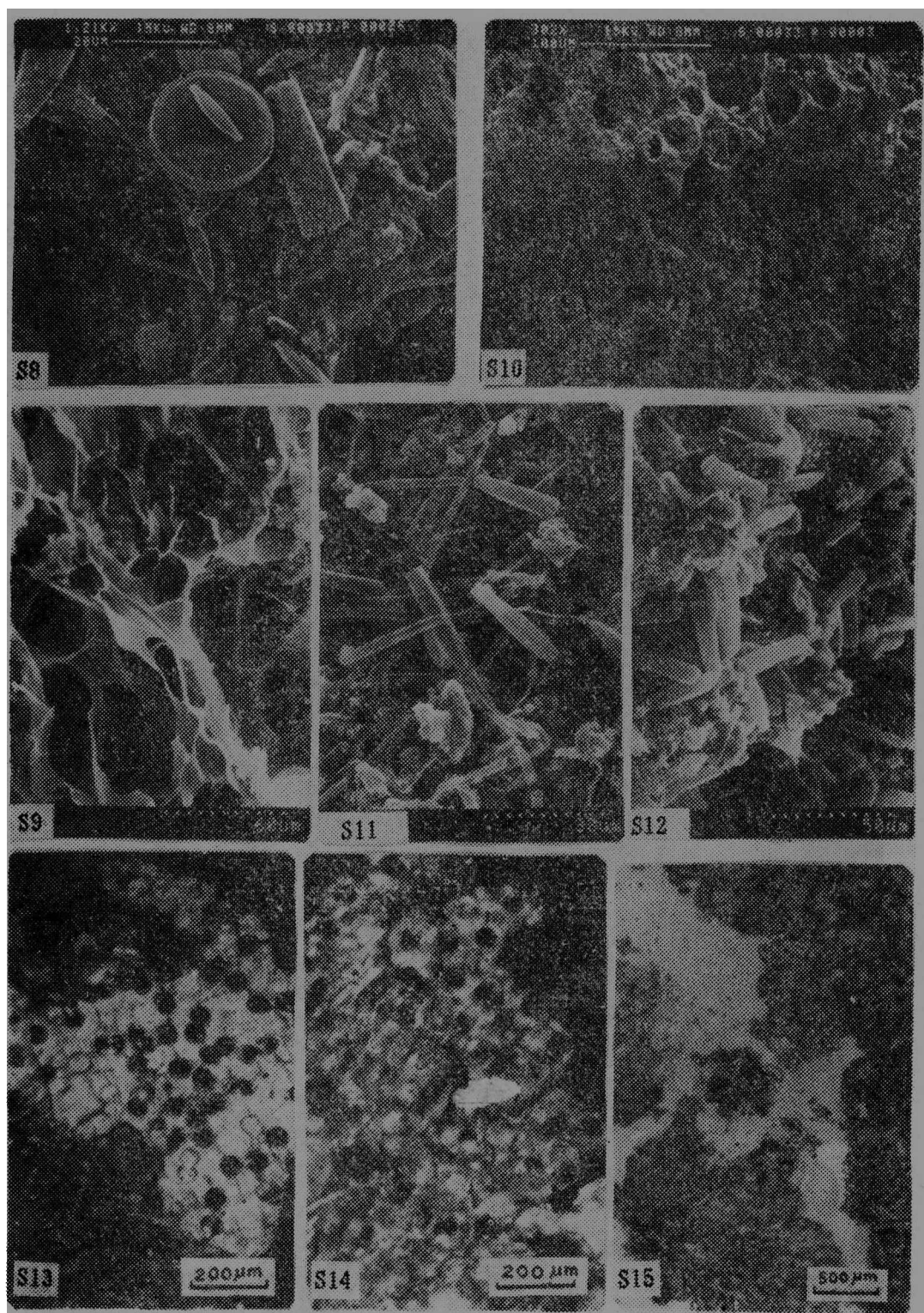
Plates of Samples Observed

- S1. Tufa deposits around the trunk of a tree in Jiuzhaigou District.
- S2. Diatom from the genera of Cyclotella on the surface of tufa in Jiuzhaigou, SEM. Scale bar marked.
- S3. Diatoms from genus of Cymbellaceae and Naviculaceae mosaic with calcite of tufa in Jiuzhaigou, SEM. Scale bar: 15 μm .
- S4. Community of Diatoms from the genera of Gomphonemaceae covers the tufa in Jiuzhaigou, SEM. Scale bar: 86 μm .
- S5. Algal-formed fabric of Jiuzhaigou tufas by Cyanophyta from the genus of Rivularia Nical. Scale bar marked.
- S6. The same as S5. Crossed Nical. Scale bar marked.
- S7. Charophyta preserved in tufas from NW Sichuan. OPM. Scale bar marked.
- S8. Diatom cells mosaic with calcite in tufas from Plitvice, Yugoslavia. Note the dried mucus. SEM. Scale bar marked.
- S9. Dried algal mucus in tufas from Plitvice. SEM. Scale bar marked.
- S10. Shoring effect of algal in tufa, SEM. Scale bar marked.

-
- S11. Detail structure of algal shoring effect in tufa from Plitvice. Note the nucleation of calcite around algal cell. SEM. Scale bar marked.
- S12. Calcite mosaic with calcite on the surface of tufas from Krka, Yugoslavia. SEM. Scale bar marked.
- S13. The trace of algal effect in the travertine of Komatevra, Yugoslavia. Section, crossed nical. Scale bar marked.
- S14. Ditto. calcite crystals oriented in accordance with algal filaments in travertine from Komatevra. Crossed nical. Scale bar marked.
- S15. The same sample as S13. Note the oriented calcite and the relict holes of algal filaments. OPM. Scale bar marked.



图版说明 109 见页



图版说明见109页

Plate I