

植物与早期成岩作用

——关于渗滤岩管及其形成机理

王国忠 吕炳全

(同济大学海洋地质研究所, 上海)

在我国西沙群岛的石岛上, 发育着一种奇特的景观, 前人曾误认为鹿角珊瑚丛体组成的珊瑚礁灰岩, 或群体虫孔¹⁾。作者研究认为它们是在植物根系参与下, 在珊瑚礁灰沙岛沉积里, 表生成岩过程中形成的方解石岩管。我们还在海南岛西北部, 白马井以南海岸找到了包围着活树根之类的岩管, 而在排浦附近海蚀崖上发现了白云化的岩管。这类岩管是在渗流带或海岸潮间带里, 水流沿着植物根系渗透和溶滤而发生溶解、沉淀和交代作用的产物, 我们称它为渗滤岩管。在这一过程中, 植物直接控制着沉积物的石化和白云化作用。近三十年来, 关于生物对碳酸盐沉积作用的巨大意义已为地质界所公认, 但对于植物在成岩作用中, 特别是在白云化中的作用的论著还不多。有人认为, 生物在石化成岩和白云石生成方面的作用是不可忽视的, 但这一作用是间接的。本文拟对这类岩管的产状、组构、形成机理、及植物在石化和白云化中的控制作用阐述如次。

一、渗滤岩管的产状和组构

石岛上更新世的生物碎屑沉积已胶结成岩, 岩溶现象较发育, 整齐地排列着的岩管也是其中之一(图版 I, 1)。大多数渗滤岩管上下等粗, 少数上粗下细, 单枝为主, 也有向下分叉的冰棱状或泉华状分枝, 未见有枝状珊瑚外形的向上分枝的现象, 偶见树根状外形的岩管。生物砂屑和泉华状胶结物组成岩管粗糙的表面, 一些管顶呈漏斗状, 起聚水作用。岩管的直径一般为15—25毫米, 细者3—5毫米, 最粗可达80毫米, 管长通常为30—50厘米。它们大都垂直地表向下延伸, 切穿倾斜岩层的层面, 少数横向伸展, 也有顺层面倾斜延伸的(图版 II, 2)。在某些近水平的透水性较差的层面上, 见有水平产出的岩管, 外形略呈椭圆形, 弯度较大。有些岩管的管壁向两侧扩展, 顺层或切层分布, 类似方解石岩脉(图版 I, 3)。

渗滤岩管疏密不均地散布于多孔生物砂屑灰岩中, 在海蚀崖上, 由于管间较疏松的生物砂屑被风化剥蚀而流失掉, 残留下来的岩管就塑造成如图版 I, 1所示的奇特景观, 而在溶洞中, 岩管则顺层呈网格状分布。

在海南岛西北部, 白马井以南的海蚀崖上, 我们找到了正在形成中的渗滤岩管(图版 I, 4)。那里的木麻黄树生长在更新世棕褐色的泥质粉砂中, 海蚀作用使海岸后

1) 第二海洋地质调查大队, 西沙群岛综合地质调查报告, 海洋地质会议资料汇编, 1978, P.109—119。

退，植物根系暴露。树根外围已形成初步胶结的青灰色岩管，突出于棕褐色粉砂中。胶结虽差，但已能将它们完整地、从疏松的粉砂中分离出来。

在白马井以南，排浦市附近，更新世湛江组^{1、2}青灰色泥质细-粉砂层的海蚀崖露头上也有类似的渗滤岩管，突出在海蚀崖的风化面上，直径5—30毫米，长10—25厘米。产状主要有水平的和垂直的两类，水平产出者呈扁圆形，且具有60°左右的Y形分叉；垂直产出者具有带中心孔的圆形断面，且常错断其外围的水平纹层。

为了弄清上述岩管的成分、结构和成因等问题，我们作了岩石薄片鉴定、原子吸收光谱、电子探针和X光衍射分析等方法的测试，部分数据列于表1中。

石岛所产的渗滤岩管具有同心层状构造（图版Ⅰ，1），图版Ⅰ-5表示岩管被侵蚀后形成的纵切面，中心管粗5—8毫米，上下贯通。偏光显微镜下观察（图版Ⅰ，2），岩管内层致密，由泥晶方解石组成，溶蚀胶结，偶见有孔虫残骸，因含有机质较多而呈棕褐色。外层灰白色，坚硬，生物砂屑结构，中砂（0.15—0.56毫米）为主，由珊瑚骨屑、钙藻屑、有孔虫壳等组成，粒状方解石亮晶（30—40微米）胶结。胶结类型属孔隙式或孔隙充填式。局部粒间孔几乎全部被胶结物充填（图1，图版Ⅰ，4）。平均面孔隙度为5—10%，完全改变了原来生物砂屑灰岩的孔隙度占28%左右的多孔结构。

原子吸收光谱分析结果表明，其内、外层主要由CaCO₃组成，但内层所含的Mg和Sr仅为外层的一半（表1）。表明内层受淋滤作用强烈，大量的Mg和Sr被溶解而流失，在外层保留得较多。

排浦附近海岸所产的白云岩管如图版Ⅰ-3所示，中心孔径4毫米左右，较粗糙而疏松，略偏于岩管的一侧。内层致密而平整，厚5—10毫米，外层较疏松，仅有局部固结在管上。中心区内，石英等岩屑的含量占65—75%，为中-细砂，白云石占10—15%；

表1 渗滤岩管分析数据表

Table 1 List of analysis data of infiltration rocky tubules

标本号	分析项目 标本名称	原子吸收光谱分析(%)					电子探针分析(%)					
		Ca	Mg	Sr	Fe	Ca/Mg	CaO	MgO	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	Ca/Mg
		石O ₁	渗滤岩管外层	38.78	0.90	0.15	0.03	43.19				
石O ₂	渗滤岩管内层	37.53	0.42	0.08	0.04	89.36						
E ₃ A ₁	白云岩管外层	11.57	5.20	0.01	2.47	2.23	22.6	16.8	10.5	3.1	2.6	1.59
E ₃ A ₂	白云岩管内层	19.27	7.60	0.01	3.17	2.51	24.5	16.8	10.3	3.2	3.4	1.73
E ₃ A ₃	白云岩管中心	11.96	8.80	0.01	2.56	1.70	23.1	13.5	3.4	8.1	1.6	2.03

1)中国科学院南海海洋研究所海洋地质研究室，1976，华南沿海第四纪地质调查研究报告。

2)王文介、李存初、杨干然，1978，洋浦港海湾地貌的形成和发育，南海海岸地貌学论文集，第三集，P.80—100。

接触式胶结，孔隙占15—20%。白云石为棱面体自形晶，具环带构造，中晶白云石散布于细—极细晶中组成斑晶结构（表2）。Ca/Mg比值为1.7，按Chilingar G. V. 的分类属于白云石，电子探针分析结果，以CaO、MgO和SiO₂为主（表1）。

表2 白云化渗滤岩管E₃A各层结构

Table 2 Parameters of stratums of dolomitized infiltration rocky tubules, sample E 3 A.

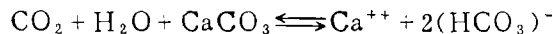
层 次 内 容	外层 (E ₃ A ₁)	内层 (E ₃ A ₂)	中心区 (E ₃ A ₃)
白云石含量 (%)	40	90	10—15
白云石晶粒大小 (μ)	6—36	17—30	11—112
岩屑含量 (%)	40	5	65—75
岩屑粒径 (μ)	360—720	38—59	90—280
孔隙度 (%)	20	5	15—20
胶结类型	接触胶结	结晶胶结	接触胶结
白云石结构	斑晶结构	等粒结构	斑晶结构

岩管的内层 (E₃A₂) 白云化强烈，镜下统计结果，白云石约占90%，石英等岩屑占5%，孔隙约5%。白云石为自形细晶（17—30微米），等粒结构。石英等岩屑以被溶蚀交代的残余形态出现，粗粉砂级（图版Ⅰ，5），偶见生物残骸。X光衍射分析测定为含铁白云石——Ca(Mg_{0.67}Fe_{0.33})(CO₃)₂。

岩管外层胶结疏松，其中石英、长石等岩屑占40%，次棱角状，中—粗砂为主（图版Ⅰ，6），孔隙占20%，白云石约40%，棱面体自形晶，由细晶散布于极细晶中而组成斑晶结构。

二、渗滤岩管的形成机理

渗滤岩管是在近地表的 多孔砂屑沉积中，植物根系导水，呼出CO₂和分泌有机酸的生理过程中，围绕着根系的溶解—沉淀作用的产物。碳酸盐矿物的溶解—沉淀作用是按下列可逆方程式进行的：



水和CO₂的增减，或是水中有机酸和pH值的改变，都控制着碳酸盐矿物的溶解和晶出。在接近地表的渗流带里，植物根系的呼吸作用、有机质的氧化和分解可以产生CO₂，其含量大大超过CO₂在大气中的含量（0.03%）而达到1%以上，以西双版纳为例，最高可达10.8%（表3）。

植物根系自下而上输水以满足其蒸腾作用和新陈代谢的需要，另一方面，地表水也能顺着根系向下渗流，这就使根系周围保持湿润。在干湿交替的热带气候条件下，根部也有相应的干湿变化。当含水量较高时，含CO₂的水便溶解骨屑颗粒或其间胶结物直至碳酸钙饱和，当水源枯竭时，便在根外沉淀出CaCO₃。这样的溶解—沉淀过程反复进

表3 云南西双版纳热带土壤空气中的CO₂含量(%)Table 3 The content of CO₂ in the tropical soil atmosphere, Nishuangbanna, Yunnan Province.

土层深度(厘米)	雨林下	竹林下
10	0—5.10	0.2—3.5
20	0.4—4.60	0.6—5.2
40—50	0.4—4.45	1.0—7.4
100	1.1—5.8	2.2—7.8
200	3.1—6.8	4.1—10.8

(据北京大学等合编“地貌学”, 1978)

行, 使紧靠根部的骨屑颗粒被溶解和泥晶化而形成岩管的内层(图1)。在离根稍远的

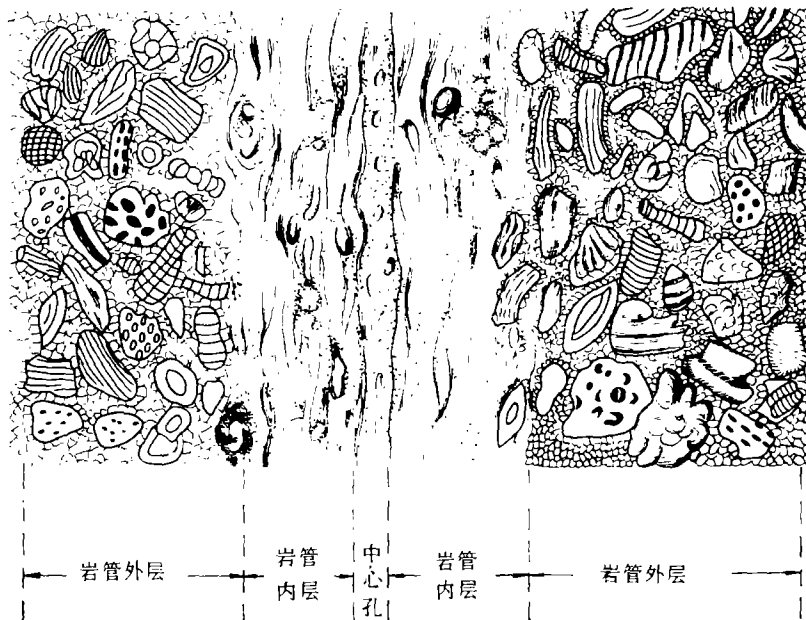


图1 渗滤岩管纵剖面示意图

Fig. 1 Diagram showing the vertical section of the infiltration rocky tubule

外围孔隙经常被来自内层的、饱和Ca(HCO₃)₂的水所湿润, 后者不再具有侵蚀性。因此在这种稳定的粒间孔隙中, 就能晶出亮晶方解石, 进一步胶结岩石而形成岩管的外层。植物枯死, 根系腐烂后, 留下的岩管仍是雨水渗入地下的通道; 随着地下水和CO₂含量的变化, 上述溶解-沉淀作用仍能进行。在剥蚀夷平的地表, 雨水的渗入使管口形成漏斗状或喇叭状集水口。一旦中心孔下部被阻塞, 水流可能从其上部破管处溢出, 在管外形成冰棱状或泉华状沉积物。

植物的向地性使根系垂直向下生长。但在岸边，它们可能顺着岩层面倾斜延伸，这就形成多数是垂直向下，而部分是上部垂直而下部顺层倾斜延伸的岩管（图版 I，2）。在透水性较差的致密层面上，少数根系水平状伸展，便出现水平岩管。

综上所述，在热带干湿交替的气候条件下，在多孔碎屑沉积的渗流带里，植物的生理作用使其根系周围造成一种pH值和碳酸钙饱和度多变的微环境，并促进碳酸盐的溶解-沉淀作用反复进行（图2），其结果便形成碳酸盐岩管。植物死后，雨水的淋滤作用和碳酸盐的结晶作用仍能在岩管内外进行。最终形成目前所见的岩管群，因此，我们称它为渗滤岩管。

三、植物白云化作用

排浦白云化岩管产于现代海岸潮间带含砂质白云岩夹层的泻湖相泥质细-粉砂层中，经测定砂质白云岩的 ^{14}C 绝对年龄为距今 31975 ± 3270 年。32000—35000年间晚更新世时世界性的高海平面恰好与现代海平面相当。可以认为，它们形成于当时的海岸潮间带（图3）。

白云化岩管中发人深思的问题是：为什么在泥质细-粉砂层中白云石组成具同心层状的岩管？又为什么在岩管内层白云石的含量特别富集，白云石的交代作用特别强烈？显然，这与植物的生理过程改变根部周围的微环境有密切关系。

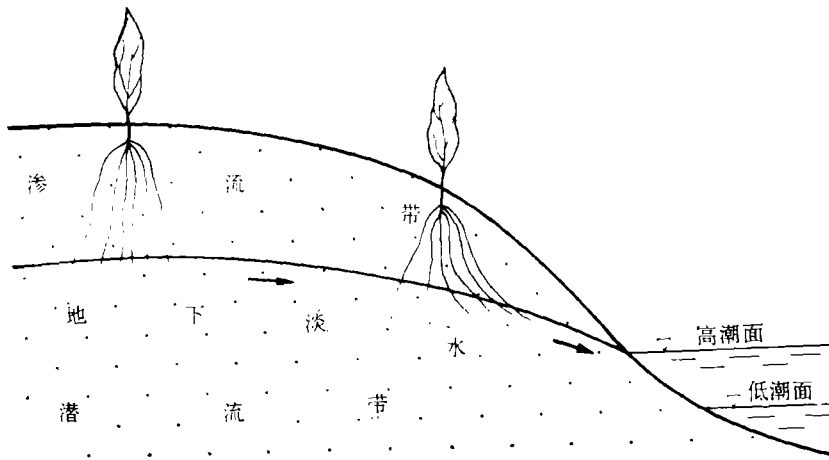


图2 渗滤岩管形成环境示意图

Fig. 2 Diagram showing the environment of formation of the infiltration rocky tubule.

植物根系吸收水分和矿物质具有相当大的独立性。在极稀的溶液里，根系透过薄膜吸收的矿物质多于它们在水溶液里的百分含量。当溶液浓度较大时，植物的吸水量又大于溶液里水的百分含量。而且，植物具有选择性地吸收矿物离子的特殊性能，例如，它们吸收阳离子的强度顺序是： K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 生长在热带海岸潮间带的耐盐性植物的根系（图3），通过其表层薄膜的渗透作用，从粒间海水，或海水与地下水的混合水中吸收

大量的水分和少量的矿物离子，供其蒸发和新陈代谢之需。这样，在根外必然残留下被浓缩了的粒间水，其盐度增高，Mg/Ca比值变大，从而构成了白云化作用的两个先决条件——高盐度和高Mg/Ca比。植物根部的呼吸作用和新陈代谢作用排出 CO_2 和有机酸，改变了水的pH值。这样就在根系周围为形成白云石—— $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ，提供了物质基础并创造了有利的微环境。

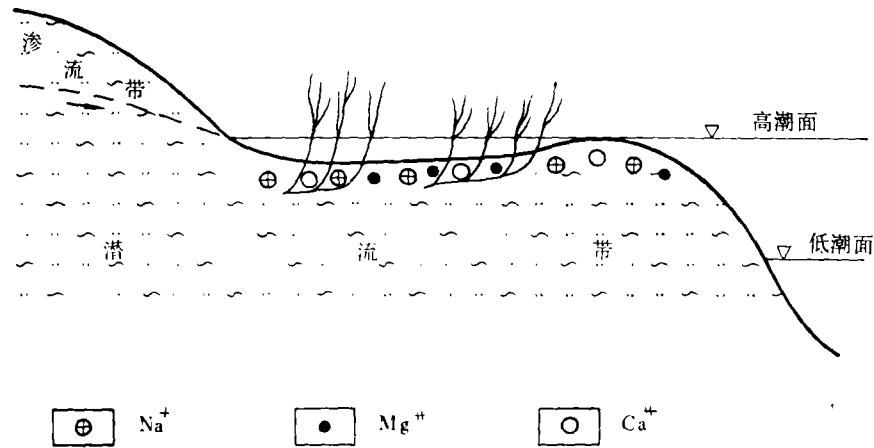


图3 白云化渗滤岩管形成环境示意图

Fig. 3 Diagram showing the environment of formation of the dolomitized infiltration rocky tubule.

热带气候季节性的干湿变化，特别是潮汐作用引起周期性的盐度、pH值和温度变化，可导致交代作用和白云化作用的进行。如在旱季或白昼，植物的蒸腾作用强烈，粒间水被浓缩，水温、盐度、Mg/Ca比及pH值都增高，这时，有利于白云石的形成。而当高潮时，海水补给粒间水，盐度降低，夜间，水温降低，pH值也变低，有利于 SiO_2 的沉淀和白云石的溶解。这种在潮间带具有周期性动态变化的变盐度环境，为白云石的形成和交代生物、石英等岩屑创造了良好的条件，最终形成白云化的渗滤岩管。由于植物根系的作用范围局限，因此，白云化作用自内层向外层逐渐减弱，并过渡为近于原始沉积状态的泥质细-粉砂层。当植物枯萎，有机质腐烂后，原来植物根系所占的空间被砂屑充填而形成现存的中心区。水平产出的岩管，因受上覆地层压实作用影响较大，植物根系所占的原生空间保存不好。

由上可知，在热带干湿交替气候的海岸潮间带条件下，植物的生理过程直接导致了白云化作用。植物的蒸腾作用类似于形成白云岩的蒸发泵作用，甚至比后者更强烈。植物根的呼吸作用和新陈代谢作用还能供应 CO_2 和改变pH值，为溶解碳酸盐、硅酸盐等矿物和晶出白云石创造了充分的条件。因此，我们可以把这类白云石的形成过程称为植物白云化作用。

四、讨 论

石岛上的岩管不是珊瑚丛体，因为它们既无枝状珊瑚的外形，又无珊瑚的骨骼构

造。它们也不是群体虫孔构造。一般虫孔的外壁仅有厚度不大的粘结层，虽然钻孔生物能使岩石局部蚀变，但不可能造成内层溶蚀而外层为亮晶再胶结的现象（图1）。这些岩管是在碎屑沉积或多孔碎屑灰岩的渗流带内，植物根系的作用下，水流的局部溶解和再胶结的产物。这是一种特殊的岩溶现象。在成因上，它类似于钟乳石，但又不同。钟乳石是形成于溶洞空间的次生矿物沉积。渗滤岩管则是形成于多孔碎屑灰岩或灰质岩中，由次生矿物沉积和进一步胶结碎屑颗粒而成。从形成环境看，前者是在空旷的溶洞中，而后者则是在微细孔隙发育的多孔灰岩内部。从外形看前者多锥状体，而后者为管状体。

Baker, E. 有过砂“石笋”的报道，它是由钙质胶结的极细砂粒组成的“石笋”，通常为圆锥形，发育于疏松的底板砂层中，并经常位于管状钟乳石之下，形成于胶结疏松的多孔砂屑灰岩中的渗滤岩管，在某种意义上可说是砂石笋的对应物。但是，鉴于岩管形成于植物根系渗透吸水，或沿根系向下渗流，以及根系分泌 CO_2 和有机酸的微环境中；它们是碳酸盐颗粒或胶结物被溶解、次生方解石的再胶结或白云石的交代作用的产物，因此，这类岩管命名为渗滤岩管更合适。

渗滤岩管可形成于潮上渗流带内，那里植物根系周围粒间水的盐度较小，它们由淡水粒状亮晶方解石胶结颗粒而成，如石岛所产者（图2）。渗滤岩管也可以形成于海岸潮间带环境中（图3），这时根系周围存在的是海水或其混合水，盐度较大，而岩管主要由交代白云石粒状结晶胶结而成。

在热带海岸潮间带，植物的蒸腾作用、呼吸作用和新陈代谢作用过程中，根系吸收大量水分，选择性地吸收矿物离子，呼出 CO_2 ，分泌有机酸，在其周围形成变盐度的微环境中，形成了交代白云石。它们是植物生理作用直接控制的结果，可称为植物白云化作用。

从石岛和海南岛白马井附近的实例可知，渗滤岩管形成于未胶结的砂质沉积物中，或经受过一定程度胶结石化的多孔砂屑灰岩中，它是沉积物早期成岩作用的表现形式之一。这对研究早期成岩作用，特别是关于植物直接控制成岩作用过程的研究将有重要意义。

从渗滤岩管内层强烈白云化并交代石英等陆源碎屑矿物的事实出发，可以说明，只要具备合适的条件，原岩中碳酸钙含量的多少，并非是形成白云岩的决定性因素。不难想象，某些古代白云岩也有可能是碎屑岩被白云化交代作用的产物。

本课题研究和本文编写过程中，蒙叶连俊教授和吴景桢教授的启发和指导，汪品先、李从先等提出宝贵意见，谨致衷心的感谢。

（收稿日期：1983年3月7日）

参 考 文 献

- 中国岩溶研究，1979，科学出版社。
冯增昭，1979，白云岩的生成机理与成因分类，天然气勘探与开发，第2期，1—9页。
中国科学院地球化学研究所 ^{14}C 实验室，1974，天然放射性碳年代测定报告之二，地球化学，第1期，28—31页。

王国忠、吕炳全, 1981, 西沙群岛石岛上沉积背斜等组构的指相意义, 同济大学学报, 第4期, 71—79页。

北京大学等合编, 1978, 地貌学, 人民教育出版社。

王国忠、吕炳全、全松青, 1982, 海南岛更新世白云岩的发现及其形成环境分析, 同济大学学报, 第4期, 18—26页。

北京农业大学编, 1961, 植物生理学, 农业出版社。

Friedman, G.M. and Sanders, J.E., 1967, Origin and occurrence of dolomite rocks, (Developments in sedimentology, 9A), Elsevier Publishing Company Amsterdam London New York.

Chilingar, G.V., 1957, Classification of limestones and dolomites on basis of Ca/Mg ratio. J. Sediment. Petrol. vol.27p.187-189.

Folk, R. L., and Land, L.S., 1975, Mg/Ca ratio and salinity: two controls over crystallization of dolomite. Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., vol.59, p.62-68

Hill, C.A., 1976, Cave minerals, The Speleo Press Austin, Texas.

Baker, George, 1942, Sand stalagmites, Jour. Geol. vol.50, no. 6, p. 662-667.

PLANTS AND EARLY DIAGENESIS: INFILTRATED ROCKY TUBULES AND THEIR FORMATION MECHANISM

Wang Guozhong

Lu Bingquan

(Research Institute of Marine Geology,

Tongji University, Shanghai)

Abstract

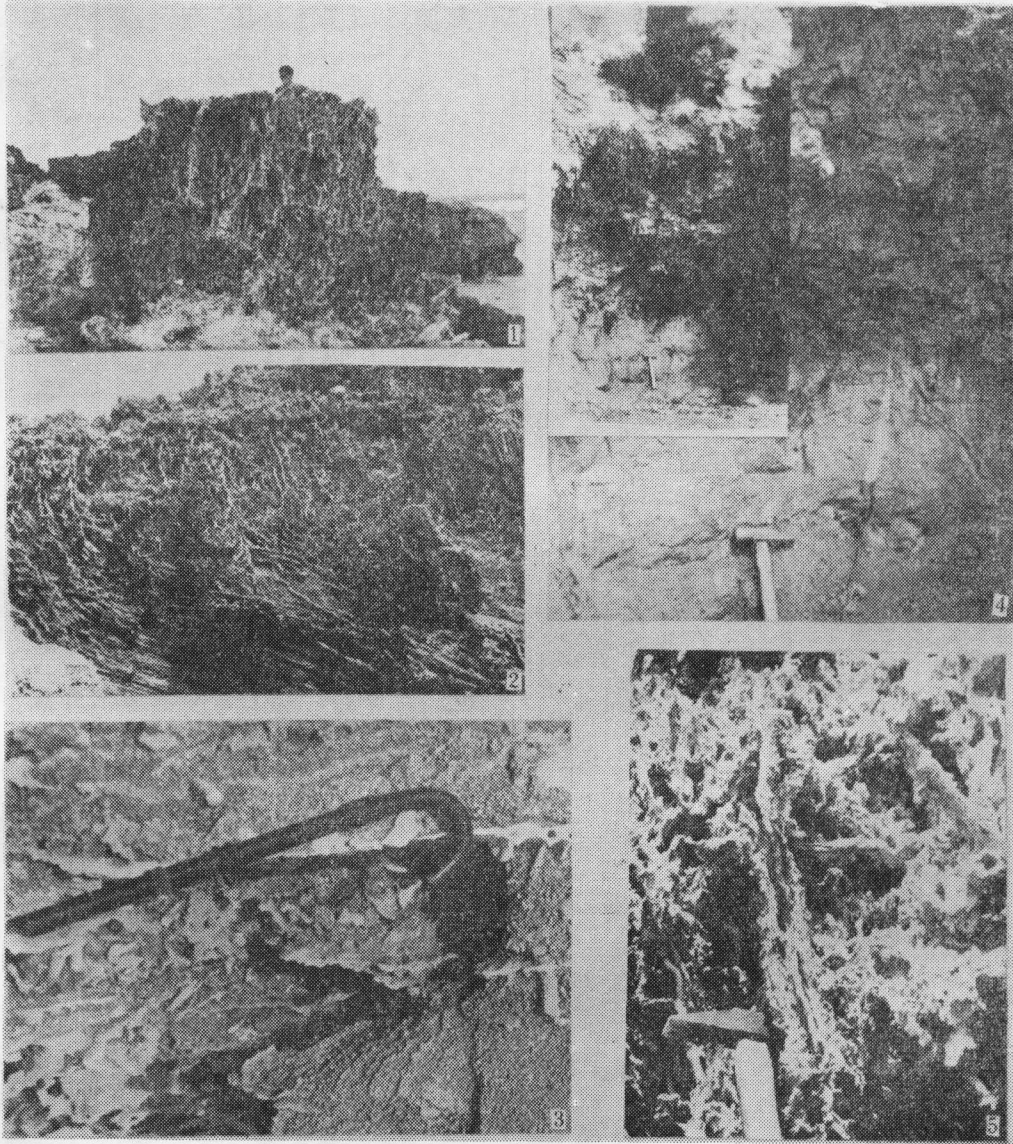
A kind of rocky tubules (3-25 mm in diameter and 30-50cm in length) occurs in the late Pleistocene biosparites on the Shidao Island of Xisha Islands, China. These tubules, which had been misunderstood as colony of corals species *Acropora*, or colony of warm pipes, have concentric stratoid structures. Its inner stratum, having a central tubule 5-8 mm in diameter, is made of dark brown micrite with corrosional cements, but the light gray outerstratum is made of biosparites cemented by finely crystalline sparry calcites (0.03-0.04mm), and locally filled up the intergranular space. Another kind of rocky tubules occurs in the Pleistocene fine sandy-silty sediments interbedded with stratoid and lenticular dolomites in the Paipu area of northwestern Hainan Island, China. These tubules have mainly vertical and horizontal occurrences with circle and oval cross section. They also have stratoid structures. The loose and rough central area, about 4 mm in diameter, consists of 65-75% quartz and other clastic materials and 10-15% crystalline dolomite. The fine and dense intensely dolomitized inner stratum (5-10 mm in thickness) consists of 90% dolomite, only 5%

clastic materials and 5% pore space. This dolomite is a euhedral rhombohedron, medium to very finely crystalline with porphyritic texture. The silty clastic particles have relict structures caused by the infiltration and replacement. The loose cemented outer stratum consists of 40% clastic particles (medium to coarse grain size), 40% euhedral finely-medium crystalline dolomite and about 20% pore.

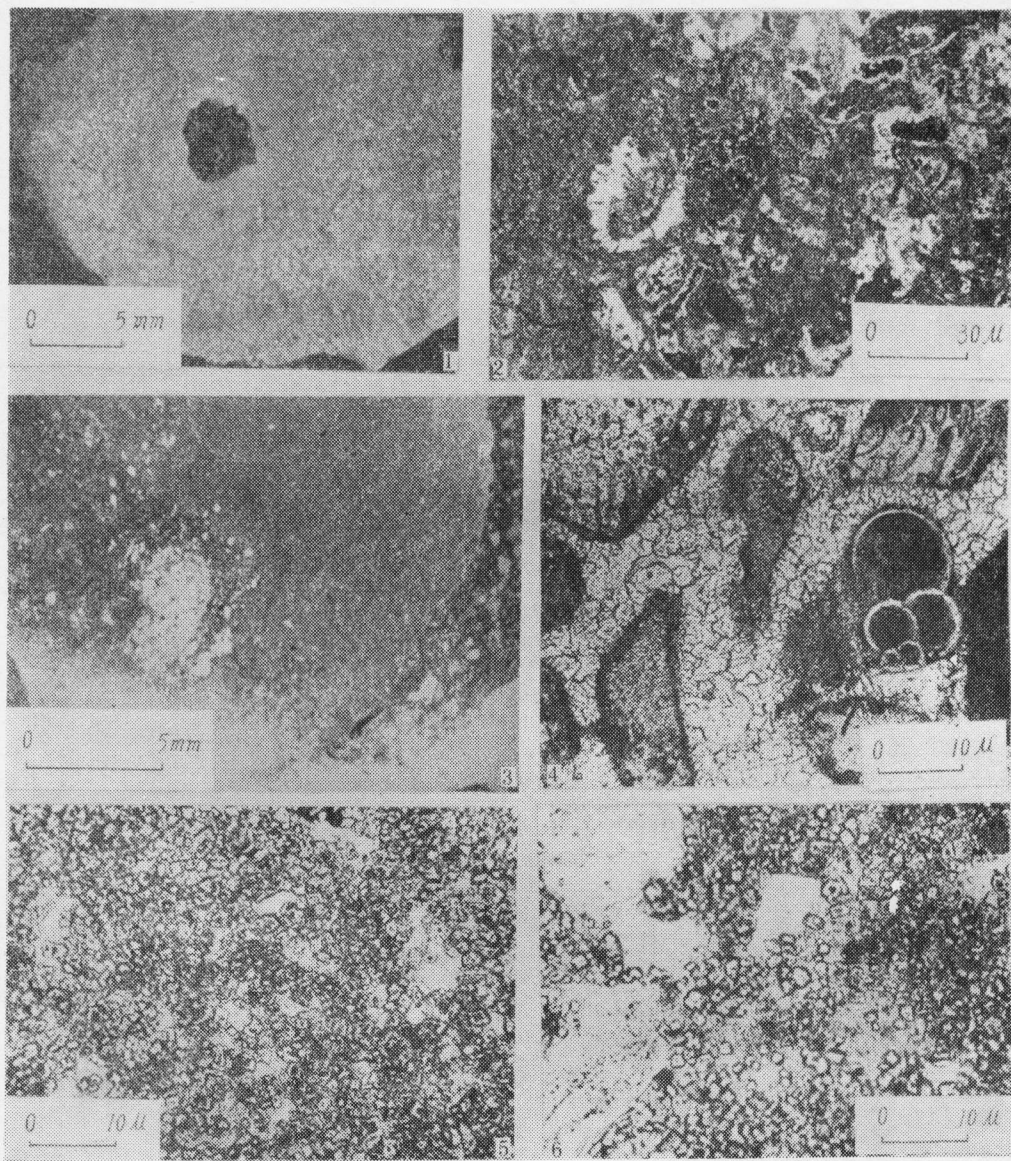
The physiological action of plants controls the formation of these rocky tubules around the plant roots. Their formation mechanism is as follows:

The transpiration and respiration or metabolism of plants suck up moisture from below, drain off the CO_2 and organic acid on the one hand, and the vadose water moves down along the roots on the other. Thus, in the microenvironment near the root, the dissolution, precipitation and metasomatism of carbonate take place repeatedly around the root system, and primary carbonate tubules are formed during their living time. After their death, the surface water may infiltrate along the formed tubules, the dissolution of the sediments and precipitation of crystalline calcite within the pore space may continuously take place. Carbonate tubules formed in such a way are called infiltration rocky tubules by the authors.

In the vadose zone with fresh water, calcite rocky tubule is formed, whereas in the intertidal zone of the coast, the dolomitized infiltration rocky tubule is formed under the influence of schizohaline condition produced by sea water alternating with fresh ground water. This unusual process of dolomite formation may be called dolomitization of plants. The formation of infiltrated rocky tubules as a process of early diagenesis is of great significance for the comprehension of the direct effect of plants on the diagenesis.



1. 多孔生物砂灰岩中渗滤岩管的露头，多数垂直延伸，上下等粗，部分向下分枝，西沙群岛石岛。 2. 渗滤岩管产状之一，上部垂直向下，下部转为顺层面倾斜延伸。 3. 渗滤岩管和方解石脉的产状，左上角两圆洞为岩管的中心孔。方解石脉为铸模状裂隙充填物，切层产出，地层面向右下方倾斜，即呼吸管（长43厘米）所指的方向。 4. 海南岛白马井以南侵蚀海岸上木麻黄树根外的现代渗滤岩管，左上方示木麻黄树杆的下部和暴露于陡岸上的根系。右下方为局部放大，铁锤右上方——岩管下部被剥离而露出活的树根，另一岩管被切成剖面，树根位于中央，岩管直径3厘米。 5. 石岛上渗滤岩管风化剥蚀后的纵向剖面，内层保存完整，上下贯通，其外侧溶蚀较烈，岩管直径4厘米。



1. 渗滤岩管横切面，中心为孔洞，内层致密呈椭圆形，外层为生物砂屑结构，粒状方解石亮晶胶结，圆形，右侧为另一岩管的一部分 2. 岩管横切面，左侧为岩管内层，由泥晶方解石组成，中部和右侧为岩管外层，近内层有孔虫等骨屑受溶蚀，次生亮晶方解石胶结，保留部分粒间孔（黑色），正交偏光 3. 白云岩管的横切面，中心管偏于左下方，已被石英等岩屑（浅色颗粒）充填，内层呈椭圆形，右侧为岩管外层的残留部分，浅色颗粒为中-粗岩屑 4. 岩管外层显微照相，粒间孔全被粒状亮晶方解石充填 5. 白云岩管内层的显微结构，石英颗粒（浅色）以交代残余形式散布于细晶白云石中，白云石为菱面体自形晶，具环带构造，单偏光 6. 白云岩管外层，照片3之右侧，中-粗粒石英等岩屑，定向排列，自形白云石胶结成岩，较疏松