

文章编号:1001-4810(2008)03-0261-05

水化学对水体着生微型生物群落组成与丰度的影响 ——以桂林毛村表层岩溶泉、砂页岩裂隙泉为例

周玉婵^{1,2}, 曹建华¹, 李小方^{1,3}

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所、国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;
2. 广西师范大学生命科学学院, 广西 桂林 541004; 3. 广西师范大学化学化工学院, 广西 桂林 541004)

摘要:用载玻片作人工基质, 放置在桂林毛村岩溶生态试验场碳酸盐岩分布区表层岩溶泉水和砂页岩区裂隙泉水中, 开展着生微型生物群落结构研究。通过对比研究发现: 毛村表层岩溶泉水中 pH、游离 CO₂、固定 CO₂、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、HCO₃⁻、NO₃⁻ 和 SO₄²⁻ 浓度均较砂页岩区裂隙泉水的高; 砂页岩区水体中着生生物群落的种数和总个体密度均比岩溶区的低; 富钙、偏碱性的岩溶泉水体中形成的着生藻类群落结构以硅藻门为主, 而砂页岩区裂隙泉水的着生藻类群落结构则以绿藻门为主。岩溶泉水体的这种着生藻类群落结构的形成与岩溶泉水的富钙、偏碱性有很大的关系。

关键词: 表层岩溶泉; 砂页岩区裂隙泉; 着生生物; 桂林毛村
中图分类号: Q178.5 **文献标识码:** A

0 前言

着生微型生物是附着在水体(人工的或自然的)基质上生活的微型生物, 包括许多生物类别, 例如: 细菌、真菌、藻类、原生动物、轮虫、甲壳动物等, 受水的流动性影响较小, 能形成比较稳定的群落结构, 其群落结构的生态学特征与水质之间有着极为密切的联系, 能够指示水质变化^[1]。因此, 近年来利用着生微型生物对水质进行监测和评价的研究进展很快, 国际上对着生藻类研究的热点之一就是着生藻类对于不同营养水平的响应^[2~4], 而国内有关着生微型生物的研究尚处于起步阶段, 在利用其监测水质方面也有所关注^[5~7]。

浮游微型生物与着生微型生物均能指示水环境的质量, 但是浮游微型生物生活在水体中受水的流动性影响比较大, 常常不能连续地指示某地点的水环境状况, 所以, 在这一点上, 着生微型生物比浮游微型生物更具优势。

岩溶水水体的富钙、偏碱性来源于石灰岩、石灰土的富钙、偏碱性, 有别于非岩溶区的外源水。岩溶水的地球化学性质对着生微型生物群落起什么样的影响? 这是岩溶生态系统研究需要回答的科学问题。本文以桂林毛村岩溶生态试验场表层岩溶泉和砂页岩裂隙泉为例, 初步探索岩溶水体着生微型生物群落组成、丰度与水质的关系, 并与砂页岩裂隙泉的着生微型生物群落进行对比。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

桂林毛村岩溶生态试验场位于桂林灵川县潮田乡, 距桂林 35 km, 属中亚热带湿润季风气候, 气候温和, 雨量充沛, 多年平均降雨量为 1 915.2 mm, 多年平均水面蒸发量为 1 378.3 mm, 年平均气温为 18℃。试验场区地层主要由泥盆系融县组(D_{3r})石灰岩和东岗岭组(D_{2d})石灰岩、白云岩及中泥盆统下部 D₂¹—

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科能 05112001-8A、桂科能 0842008)

第一作者简介: 周玉婵(1983-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为岩溶环境生态学。E-mail: zhouyuchan910@163.com。

通讯作者: 曹建华(1963-), 男, 研究员, 从事岩溶生态系统研究。E-mail: jhcao@karst.edu.cn。

收稿日期: 2007-12-19

套含Fe砂页岩组成。场区内碳酸盐岩风化形成的石灰土其pH值为6.22~7.63、钙的含量介于0.65%~1.31%；而砂页岩分布区，岩石风化形成的红壤其pH介于4.14~5.84、钙含量绝大部分<0.34%^[8]。在碳酸盐岩分布区发育有间歇的表层岩溶泉，4-9月有流水，最大流量可达25L/s，泉水的pH值为6.92~7.96；砂页岩分布区发育裂隙泉，泉水基本常年不断流，但泉水的流量较小，通常0.01~1L/s，泉水的pH值为5.34~6.33。

1.2 野外试验

在碳酸盐岩分布区表层岩溶泉和砂页岩分布区裂隙泉泉眼附近水体中，用载玻片作人工基质嵌入自制的采样框内并置于水面下15~25cm处，每个点放置3片，1周之后取出载玻片，在水体中轻轻抖动，去除浮泥尘，在Leica双筒生物光学显微镜下观察、鉴定、分类、计数。试验收集样品时间为2006年的6月。

1.3 着生微型生物的分类和鉴定

着生微型生物种类鉴定依据《中国淡水藻类》^[9]和韩茂森等(1995)分类法^[10]鉴定到种或属，并按属种计数。

1.4 水质分析

取流动泉水进行水质分析，由中国地质科学院岩溶地质研究所分析测试中心完成。固定CO₂、游离CO₂浓度利用泉水水化学测定数据通过软件Watspec15计算获得。

2 实验结果

2.1 水质分析结果

由表1可以看出，毛村碳酸盐岩分布区表层岩溶泉水化学指标中pH、游离CO₂、固定CO₂、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、HCO₃⁻、NO₃⁻和SO₄²⁻浓度均高于砂页岩分布区裂隙泉水，其中pH值高出2.08个单位，游离CO₂高出1.70mg/L；固定CO₂、Ca²⁺、HCO₃⁻在岩溶水中的含量分别达到87.45mg/L、78.03mg/L、242.57mg/L，分别是砂页岩区裂隙泉水的25.18、19.08、25.19倍。而岩溶泉水中的溶解氧浓度比砂页岩裂隙泉水中的低1/3。其它重金属含量在两个地方相差不大，其总含量均远远低于水质污染标准，说明两个地方的水质良好。

表1 毛村表层岩溶泉水及砂页岩裂隙泉水水质分析结果

Tab. 1 Comparison of water quality between epikarst spring and sand-shale fissure spring in Maocun

泉水类型	pH	含量/mg/L									
		游离CO ₂	固定CO ₂	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
表层岩溶泉	7.57	5.10	87.45	0.09	0.33	78.03	2.96	4.86	242.57	1.90	3.90
砂页岩裂隙泉	5.49	3.40	3.48	0.01	0.05	4.09	0.99	4.68	9.63	0.44	0.00
泉水类型	溶解氧	Cu	Zn	Cd	Mn	Hg	Cr	As	Ni	Co	Pb
表层岩溶泉	6.0	0.0009	0.0043	0.0001	0.0041	<0.001	0.0022	0.0053	0.0000	0.0000	0.0031
砂页岩裂隙泉	9.0	0.0047	0.0019	0.0001	0.0133	<0.001	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043

2.2 着生微型生物的群落结构

2.2.1 着生微型生物的种类组成

通过对毛村碳酸盐岩区表层岩溶泉水体采样检测，共检出着生微型生物6个门类45属68种，结果如表2所示。其优势种属为硅藻门的异极藻属、舟形藻属、钝脆杆藻、肘状针杆藻、箱形桥弯藻、尖头幅节藻、吻状藻和绿藻门的美貌水绵以及原生动物门的钩刺斜管虫、浮雕刀口虫，总个体密度为59547个/cm²。

而砂页岩区裂隙泉水中检出着生微型生物7个门类52属66种，结果如表3所示。优势种为绿藻门的湖泊胶丝藻，总个体密度为1606个/cm²。

2.2.2 着生生物的群落结构组成

在毛村表层岩溶泉水中，硅藻门生物占着生生物

种类总数的47.06%；绿藻门生物占27.94%；蓝藻门生物占1.47%；黄藻门生物占7.35%；金藻门生物占1.47%；原生动物的14.71%，野外观察时发现表层岩溶泉水中，发现有较多的水生动物，如小鱼、小虾和螺等。而在砂页岩区裂隙泉水中，硅藻门生物占着生生物种类总数的25.76%；绿藻门生物占39.39%；蓝藻门生物占7.58%；黄藻门生物占3.03%；裸藻门生物占3.03%；隐藻门生物占3.03%；原生动物的18.18%。

从图1中可以看出，毛村表层岩溶泉水中的着生生物群落结构表现为硅藻最多，其次为绿藻、原生动物、隐藻、金藻和黄藻；而砂页岩区裂隙泉水中绿藻最多，其次为硅藻、原生动物、蓝藻、黄藻、隐藻和裸藻。

表2 毛村表层岩溶泉水体着生微生物名录
Tab. 2 Species composition in epikarst spring water in Maocun

门	属	门	属
蓝藻门	颤藻属 <i>Oscillatoria</i>		舟形藻属 <i>Navicula</i>
藻属 <i>Diatoma</i>			美壁藻属 <i>Caloneis</i>
绿藻门	水绵属 <i>Spirogyra</i>		幅节藻属 <i>Stauroneis</i>
	毛枝藻属 <i>Stigeoclonium</i>		曲壳藻属 <i>Achnanthes</i>
	角星鼓藻属 <i>Staurastrum</i>		羽纹藻属 <i>Pinnularia</i>
	鞘毛藻属 <i>Coleochaete</i>		卵形藻属 <i>Cocconeis</i>
	微孢藻属 <i>Microspora</i>		直链藻属 <i>Melosira</i>
	绿球藻属 <i>Chlorococcum</i>	金藻门	褐球藻属 <i>Phaeoplaca</i>
	筒藻属 <i>Cylindrocapsa</i>		
	竹枝藻属 <i>Draparnaldia</i>	黄藻门	黄丝藻属 <i>Tribonema</i>
	根枝藻属 <i>Rhizoclonium</i>		气球藻属 <i>Botrydium</i>
	十字藻属 <i>Crucigenia</i>	原生动物门	钟虫属 <i>Vorticella</i>
	枝甲藻属 <i>Dinoclonium</i>		斜管虫属 <i>Chilodonella</i>
	鼓藻属 <i>Pleurotaenium</i>		匣壳虫属 <i>Centropyxis</i>
	细丝藻属 <i>Ulothrix</i>		波豆虫属 <i>Bodo</i>
	链丝藻属 <i>Hormidium</i>		斜口虫属 <i>Enchelya</i>
	小球藻属 <i>Chlorella</i>		刀口虫属 <i>Spathidium</i>
	桑椹藻属 <i>Pyrocystis</i>		楯纤虫属 <i>Aspidisca</i>
	杆星球藻属 <i>Asterococapsa</i>		刺胞虫属 <i>Acanthocystis</i>
硅藻门	异极藻属 <i>Gomphonema</i>		急纤虫属 <i>Tachysoma</i>
	腕杆藻属 <i>Fragilaria</i>		轮毛虫属 <i>Trochilia</i>
	针杆藻属 <i>Synedra</i>		
	桥弯藻属 <i>Cymbella</i>		

表3 毛村砂页岩裂隙泉水着生微生物名录
Tab. 3 Species composition in sand-shale fissure spring water of non-karst area in Maocun

门	属	门	属
蓝藻门	螺旋藻属 <i>Spirulina</i>		曲壳藻属 <i>Achnanthes</i>
	颤藻属 <i>Oscillatoria</i>		幅节藻属 <i>Stauroneis</i>
	尖头藻属 <i>Raphidiopsis</i>		羽纹藻属 <i>Pinnularia</i>
	束球藻属 <i>Gomphosphaeria</i>		异极藻属 <i>Gomphonema</i>
	色球藻属 <i>Chroococcus</i>		腕杆藻属 <i>Fragilaria</i>
绿藻门	胶丝藻属 <i>Gloettilopsis</i>		卵形藻属 <i>Cocconeis</i>
	枝甲藻属 <i>Dinoclonium</i>	黄藻门	无隔藻属 <i>Vaucheria</i>
	弓形藻属 <i>Schroederia</i>		周泡藻属 <i>Vacuolaria</i>
	小球藻属 <i>Chlorella</i>		气球藻属 <i>Botrydiopsis</i>
	基枝藻属 <i>Bacillaria</i>	裸藻门	裸藻属 <i>Euglena</i>
	十字藻属 <i>Crucigenia</i>		
	筒藻属 <i>Cylindrocapsa</i>	隐藻门	隐藻属 <i>Cryptomonas</i>
	根枝藻属 <i>Rhizoclonium</i>		
	四角藻属 <i>Tetraedron</i>	原生动物门	刺日虫属 <i>Raphidiophrys</i>
	毛枝藻属 <i>Stigeoclonium</i>		
	角星鼓藻属 <i>Staurastrum</i>		
	鼓藻属 <i>Pleurotaenium</i>		

续表 3

门	属	门	属
	胶网藻属 <i>Dictyosphaerium</i>		砂壳虫属 <i>Diffugia</i>
	素衣藻属 <i>Polytoma</i>		筒变虫属 <i>Vahlkampfia</i>
	尾丝藻属 <i>Uronema</i>		变形虫属 <i>Ameoba sp.</i>
	卵囊藻属 <i>Oocystis</i>		剑桥哈氏虫属 <i>Hartmannella</i>
	杆星球藻属 <i>Asterocapsa</i>		波豆虫属 <i>Bodo</i>
	丝藻属 <i>Ulothrix</i>		圆壳虫属 <i>Cyclopyxis</i>
	韦斯藻属 <i>Westella</i>		法帽虫属 <i>Phryganella</i>
			尾滴虫属 <i>Cercomonas</i>
硅藻门	小环藻属 <i>Cyclotella</i>		筒壳虫属 <i>Tintinnidium</i>
	韦氏藻属 <i>Westella</i>		喇叭虫属 <i>Stentor</i>
	舟形藻属 <i>Navicula</i>		无隔藻属 <i>Vaucheria</i>

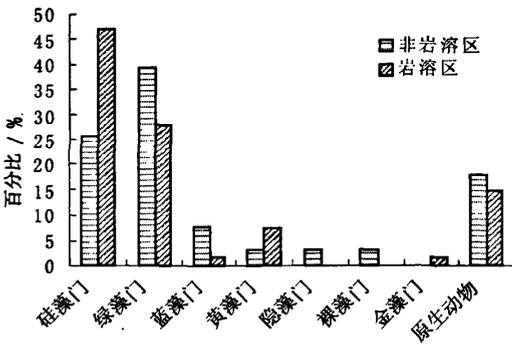


图1 毛村表层岩溶泉水和砂页岩裂隙泉水着生生物群落结构图

Fig. 1 Comparison of composition of periphyton community between epikarst spring and sand-shale fissure spring in Maocun

3 讨论

通过对比可以看出,表层岩溶泉水中含有丰富的C源和N源,其HCO₃⁻和NO₃⁻的含量分别是砂页岩裂隙泉水的25.18和4.32倍,使水体着生生物群落得以大量的生长、繁殖。表层岩溶泉水中检出着生生物种类68种,总个体密度为59 547个/cm²,而砂页岩裂隙泉水中共检出着生生物种类66种,总个体密度为:1 606个/cm²。表层岩溶泉水中高含量的无机碳HCO₃⁻(DIC),起因于碳酸盐岩的可溶解性。至于表层岩溶泉水中高含量的NO₃⁻的形成,从已有研究成果土壤硝化势与土壤pH呈极显著的正相关来看,与研究区岩溶环境的偏碱性生境密切相关^[11]。前述的水质分析结果表明,表层岩溶泉的pH值高达7.57个单位,而砂页岩裂隙泉水的pH值只有5.491个单位。因此,碳酸盐岩及其形成的碱性土壤等特殊的环境条

件,可能是造成岩溶区泉水中着生藻类群落结构以硅藻门为主的主要原因,具体影响机制有待进一步的研究和发现。

在本实验过程中发现毛村碳酸盐岩区表层岩溶泉水中放置的玻璃上面有矿物结晶(图2),经检测该晶体的化学成分为碳酸钙。表层岩溶泉水体玻璃上矿物结晶的存在,从另一个侧面进一步说明了表层岩溶泉水着生微型生物,特别是藻类生物生长繁殖比较活跃之事实。因为表层岩溶泉水中藻类生物主要是依靠消耗水体中的CO₂进行光合作用以保证其不断繁殖生长。而根据表层岩溶泉水水化学的测定结果,利用Watspec15软件计算本区表层岩溶泉水的方解石的饱和指数为0.05,处于饱和状态,在藻类的光合作用下,表层岩溶泉水中的CO₂不断减少,从而导致水中碳酸钙过饱和而发生沉积。

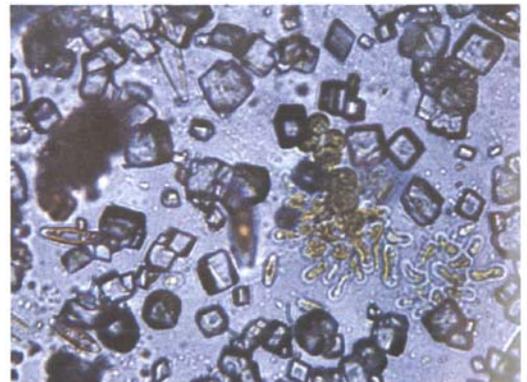


图2 置于毛村表层岩溶泉水中的玻璃片上的矿物结晶体

Fig. 2 Calcite crystals on the glass-medium collected from the epikarst spring in Maocun

4 几点认识

(1)毛村表层岩溶泉水pH、游离CO₂、固定CO₂、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、HCO₃⁻、NO₃⁻和SO₄²⁻浓度均高于砂页岩裂隙泉水。

(2)岩溶泉水体中着生藻类群落结构以硅藻门为主,而砂页岩区裂隙泉水则以绿藻门为主。表层岩溶泉的微生物总个体密度比砂页岩裂隙泉的大得多。

(3)表层岩溶泉水体以硅藻门为主的着生藻类群落结构的形成与岩溶泉水的富钙、偏碱性有很大的关系。

参考文献

- [1] 廖祖荷,顾泳洁. 苏州河水质与着生生物群落的生态学变化关系的研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2003,2:196-199.
- [2] Smoot J C, Donald E L, Michella L, et al. Periphyton growth on submerged artificial substrata as a predictor of phytoplankton response to nutrient enrichment [J]. Journal of Microbiological Methods, 1998, 32: 11-19.
- [3] Haydee P, Alicia V, Guillermo T. Periphyton on artificial substrata from three lakes of different trophic status at Hope Bay (Antarctica) [J]. Polar Biol, 2002, 25: 169-179.
- [4] Karl E, Therese L E, Andrew J R, et al. Littoral periphyton responses to nitrogen and phosphorus; an experimental study in a subtropical lake [J]. Aquatic Botany, 1999, 63: 267-290.
- [5] Lewis M A, Weber D L, Moore J C. An Evaluation of the Use of Colonized Periphyton as an indicator of Wastewater Impact in Near-Coastal Areas of the Gulf of Mexico [J]. Arch Environ Contam Toxicol, 2002, 43: 11-18.
- [6] Bokn T L, Duarte C M, Pedersen M F, et al. The Response of Experimental Rocky Shore Communities to Nutrient Additions [J]. Ecosystem, 2003, 6: 577-594.
- [7] 芦晏生. 松花江污染对浮游生物、着生藻类影响的初步研究[J]. 环境科学, 1985, 1: 8.
- [8] 卢政桂, 曹建华, 何寻阳. 桂林毛村石灰土和红壤元素生物地球化学特征研究[J]. 广西科学, 2006, 13(1): 58-64.
- [9] 胡鸿钧主编. 中国淡水藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 1-525.
- [10] 韩茂森, 束蘧芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 1-170.
- [11] Broad F E, Tyler K B. Effect of pH on nitrogen immobilization in two California Soil [J]. Plant and Soil, 1965, 23: 314-322.

Comparison of periphyton community composition and abundance under different hydro-chemical influences between epikarst spring and sand-shale fissure spring in Maocun, Guilin

ZHOU Yu-chan^{1,2}, CAO Jian-hua¹, LI Xiao-fang^{1,3}

(1. Institute of Karst Geology, CAGS, Karst Dynamics Laboratory, MLR, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. School of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China; 3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: Periphyton community structure is studied in this paper by means of taking glass-medium as artificial substance to attract periphyton that is fixed in the Maocun epikarst spring water and in sand-shale fissure spring water. It is proved that the pH, dissociated CO₂, immobile CO₂ and the total contents of K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻ in Maocun epikarst spring water are all higher than that in fissure spring water. Through one week field work and laboratory classification and identification, the species of the periphyton community in the water are examined. The *Bacillariophyta* is the major composition of periphyton community in epikarst spring water but the *Chlorophyta* in sand-shale fissure spring. And, the individual density of periphyton community in epikarst spring is higher than that in sand-shale fissure spring. Some calcite crystals are found on the glass-medium collected from epikarst spring water, and the preliminary study indicates that rich calcium and alkaline epikarst spring water can induce special species in periphyton community.

Key words: epikarst spring water; sand-shale fissure spring water; periphyton; Maocun, Guilin