

海南岛滨珊瑚的荧光强度与降雨量 和径流量的相关性研究*

彭子成^{1,2**} 谢 端¹ 何学贤¹ 张兆峰¹
盛六四³ 高 辉³ 聂宝符⁴ 钟晋梁⁴

1. 中国科学技术大学地球与空间科学系, 合肥 230026; 2. 中国科学院地球环境研究所, 西安 710054;
3. 中国科学技术大学同步辐射国家实验室, 合肥 230026; 4. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301

摘要 在紫外激光的诱导下, 海南岛近岸龙湾港水域的滨珊瑚可产生黄-绿荧光带. 在与邻近的琼海地区降雨量和万泉河口径流量作拟合分析后, 发现有显著的相关关系. 将荧光强度(FI)和降雨量(RF)线性拟合后, 可获得相关系数 = 0.78 的线性方程: $RF = 889 - 4.54FI$. 用该方程计算 1982~1997 年的降雨量序列, 其中峰期降雨量常与全球的 El Niño 事件有关. 而当荧光强度和径流量(RO)拟合后, 可得到相关系数 = 0.74 的二次方程为: $RO = -0.0279 FI^2 - 18.59 FI - 950.9$. 用该方程计算的 1982~1997 年径流量序列, 其峰值与降雨量曲线相似. 这表明, 我国南方沿岸地区的洪涝和干旱的变化, 在很大程度上要受到全球变化的制约.

关键词 紫外激光 珊瑚荧光 降雨量 径流量 相关分析

1984 年, Isdale^[1]首次在《Nature》上发表了用长波紫外光诱发滨珊瑚产生黄-绿荧光带, 开创了荧光带强度和类型与河口径流量, 以及近陆降雨量的相关性研究. 研究表明, 位于伯德金 (Burdekin) 河口附近的滨珊瑚, 其骨骼所产生的荧光强度与伯德金河径流量呈同步变化关系. 1974 年的洪水泛滥, 对应的荧光强度也非常强; 1931 年为干旱年, 对应的荧光带消失. Boto 等^[2]报道了珊瑚骨骼中的荧光带, 主要是由富啡酸 (Fulvic) 产生. 实验证明, 黄绿荧光带仅仅在近岸的珊瑚中才能发现. 随着离岸距离的增加, 荧光强度也相应地减弱. 这种富啡酸, 经降雨淋滤, 从土壤转入河流, 随之从河口进入近海, 然后被珊瑚吸收而储存起来. 这与珊瑚吸收海洋中的有机质而产生的蓝色背景光有本质的不同. Smith 等^[3]研究了佛罗里达海湾的孔星珊瑚, 发现骨骼中黄-绿荧光带的起因来源于陆源的富啡酸, 其荧光强度与河流径流量和陆地降雨量之间有很好的相关性. 他们还建立了 1881~1939 年间的径流量曲线, 发现在 1932 年以前为 4~6 年的周期变化. Scoffin 等^[4]在巴布亚新几内亚的 Motupore 地区河口 2 km 处采集的

2000-11-28 收稿, 2001-01-08 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目 (批准号: G1999043400), 中国科学院创新工程项目 (KZCX1-y-05) 和中国科学技术大学资源与环境研究基地资助项目

** E-mail: pzc@ustc.edu.cn

澄黄滨珊瑚,其荧光带强度和带型与莫尔比港的月降雨量记录有密切相关。1981~1982年雨季降雨量有双峰分布,而珊瑚的骨骼中也出现有双黄绿带。Klein等^[5]分析了Sinai地区现代珊瑚和化石珊瑚的荧光特性,结果发现现代珊瑚没有荧光带,而化石珊瑚则有不同程度的荧光带。这表明化石珊瑚含有陆源的富啡酸,且与第四纪的径流量有关。在这些化石珊瑚的生长期内,Sinai地区气候潮湿,夏季盛行降雨,这与现代极端干燥的气候环境,有着显著不同。Susic等^[6]系统地研究了陆地上的植物、土壤、河水、近岸水体和普通海水的腐殖酸含量,证实了陆地土壤是腐殖酸的大储库,而富啡酸是腐殖酸的重要组成部分。Fang等^[7]研究了台湾恒春半岛南湾等地珊瑚的荧光带,结果发现它与当地降雨量有很好的相关性。研究还表明,荧光带强度的变化,还受到沿岸海流、近岸地貌、重金属污染及珊瑚的种属有关,这为重建古海岸的气候和生态环境提供了系统的分析渠道。聂宝符等^[8]、何学贤等^[9]曾评述了珊瑚的荧光分析方法及其在古环境研究中的应用。从目前国内外的资料显示,还没有见到从事上述的南海近岸珊瑚研究的报道。

1 采样

1998年我们曾在海南岛东南的龙湾港水域(19°20'N,110°39'E),采集到大型滨珊瑚样品。选择此处近岸珊瑚开展荧光带研究,是因为:(1)这里距万泉河口很近,万泉河是海南岛第3大河流,多年的平均入海径流量为 $49.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大为 $78.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,最少也有 $17.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,万泉河的径流变化可以代表附近内陆的降水变化,也是联系研究东亚季风强度和走向的理想场所;(2)万泉河口的珊瑚礁已受到严重破坏,采集不到合适样品;而龙湾港一带为自然保护区,有大量的块状澄黄滨珊瑚发育,经批准后可适度地采集;(3)采样点附近有比较详细的实测气象资料。与龙湾港毗邻的清澜港有1960~1998年的海表面温度(SST)资料;琼海市有1953~1998年的气温和降雨量等气象资料;万泉河加积水文站有20世纪60年代以来的径流量资料。为此,我们拟用采集的滨珊瑚样品,开展其骨骼荧光强度与近岸降雨量和河口径流量间的相关性研究,揭示过去沿岸地区的干湿气候变化、旱涝灾害性的出现频率、探索用珊瑚荧光强度代用指标建立定量模型的可行性。

2 实验

实验是在中国科学技术大学同步辐射国家实验室内进行。利用一台Q5-100 Yag laser 紫外激光器,输出波长为266 nm,激发能量可控,由光强计直接读出。激光束斑直径在0.15~0.2 mm范围,以45°角射入条带状滨珊瑚的表面。由激光诱发的荧光经过QB5牌号的滤光片(350~500 nm),相应于文献[1]报道的发射光,进入到光电倍增管内。由荧光产生的光电脉冲,被惠普HP型快速储存示波器记录下来。条带状样品固定在一个三维可动的平台上。实验测试点移动步长为1 mm,相应于1个月左右的分辨率,与琼海地区降雨量的记录可以匹配。步长移动可用千分表精确测量。样品的激光照射和荧光测量系统,是放在一个黑箱中进行的。

3 结果和讨论

(1)实验所测试的一段滨珊瑚样品,已从X光照片上看出清晰的年生长带。从采样日期1998年8月算起,可追溯至1981年5月。而实验移动测试点为204个,平均年生长率约为12

mm. 每个测试点的荧光峰,经积分后可以得出相应的年周期变化曲线(图 1). 由每年的测试点荧光强度积分,可得出滨珊瑚骨骼的年荧光强度数据(见表 1).

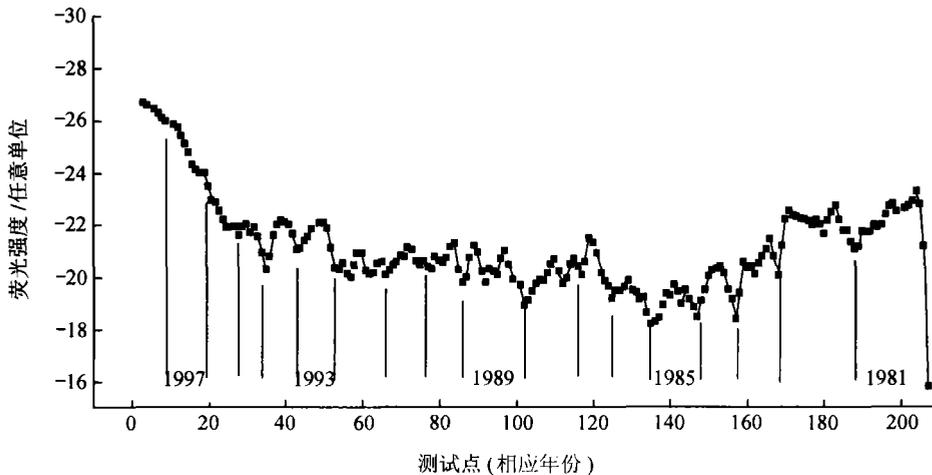


图 1 海南岛龙湾港滨珊瑚荧光强度的年变化曲线

表 1 海南岛龙湾港滨珊瑚荧光强度、琼海降雨量和万泉河口径流量数据

年份	实测荧光强度/任意单位	实测年降雨量/mm	计算年降雨量/mm	实测年径流量/ m^3s^{-1}	计算年径流量/ m^3s^{-1}
1982	-437.5	2714	2873	1830	1841
1983	-219.3	1655	1884	1691	1784
1984	-195.6	1753	1776	1717	1617
1985	-208.6	1892	1835	1778	1712
1986	-236.3	1964	1961	1774	1884
1987	-144.9	1246	1547	960	1157
1988	-277.9	1766	2150	1597	2060
1989	-307.1	2203	2282	2030	2126
1990	-227.3	1919	1920	1748	1833
1991	-185.2	1378	1729	1213	1535
1992	-267.2	2082	2101	1910	2024
1993	-194.9	1912	1773	1741	1612
1994	-237.1	2204	1965	2031	1888
1995	-175.4	2049	1685	1877	1451
1996	-238.1	2294	1969	2120	1893
1997	-314.1	2733	2314	2554	2135

(2)从琼海地区的水文站可以得到 1998-12 ~ 1981-01 月降雨量数据. 按年度累积,即可得到近岸地区的年降雨量(见表 1).

由年荧光强度(FI)和年降雨量(RF)两组数据作相关分析,结果发现在简单的线性拟合情况下,相关系数为 0.78, 这表明两者有密切的相关性. 其方程为: $RF = 889 - 4.54 FI$. 由该拟合方程,可从实测的荧光强度计算出后报的年降雨量(见表 1).

图 2 展示了由拟合方程计算出的(或称为后报的)年降雨量曲线与实测的年降雨量曲线相

比较的结果. 图中显示两者具有密切相关的同步性. 由图看出 1982, 1986, 1989, 1992, 1994 和 1997 各年, 在近岸琼海地区有较大的年降雨量. 根据已发表的研究结果^[10], 在 1982, 1986, 1992, 1994 和 1997 各年都发生了强度不等的全球 El' Niño 现象. 这表明, 从东太平洋赤道附近海域引起的 SST 骤变, 会明显地影响到我国南方沿岸地区的气候格局, 尤其是 1982 年和 1987 年两次严重的 El' Niño 年, 对我国南方沿岸的降雨影响最大. 而降雨的高峰年往往与 El' Niño 的气象环境有关. 龚道溢等^[10]认为, ENSO 事件 (El' Niño-南方涛动) 具有全球尺度的影响, 许多地方的降水、气温等气候要素的异常与 ENSO 有密切的联系. El' Niño 年出现的江南沿岸地区降水偏多, 这与本文的分析结果一致.

(3) 由年荧光强度 (FI) 和年径流量 (RO) 两组数据作相关分析, 结果显示, 线性相关系数为 0.51, 而二次方相关系数为 0.74, 对应的方程为: $RO = -0.0279 FI^2 - 18.59 FI - 950.9$. 这表明, 珊瑚的荧光强度与径流量虽有显著的线性关系 ($r = 0.51$), 但有更密切的二次方关系 ($r = 0.74$).

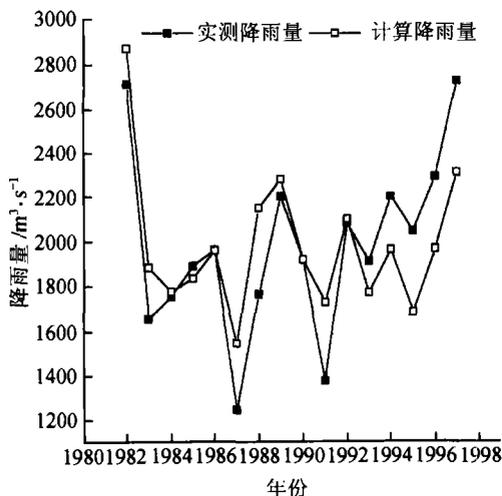


图 2 海南岛琼海地区实测降雨量和计算降雨量相关图

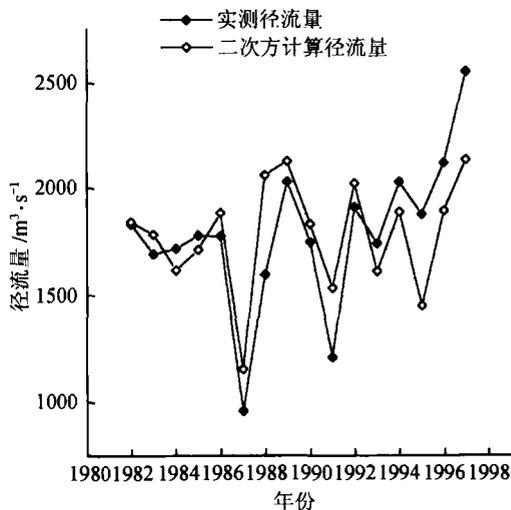


图 3 海南岛万泉河实测径流量和计算径流量相关图

Isdale^[3]报道了珊瑚的荧光强度的三次方与伯德金河径流量有密切相关性, 其相关系数 $r = 0.80$. 但在本文研究中荧光强度的二次方或三次方与径流量均有 $r = 0.74$ 的相关性. 图 3 展示了计算的 (或后报的) 年径流量和测定的径流量有同步性, 与图 2 所示的降雨量曲线相似: 径流量的高峰期, 也出现在 1982, 1986, 1989, 1992, 1994 和 1997 各年, 径流量的增加和降雨量同步, 也受到全球 El' Niño 事件的制约.

由本实验建立的海南岛滨珊瑚的荧光强度变化曲线, 与近岸降雨量和河口径流量变化密切相关同步. 这为重建近百年来, 甚至数百年来我国南方沿海近岸地区的降雨量变化旋回, 揭示我国南方沿岸地区的旱涝变化规律, 为减灾、防灾, 为沿海发达地区的经济持续发展有着重要的科学和决策意义.

4 结语

我们选用了紫外激光器作为激发光源,有别于目前国外学者所用的紫外汞灯做激发光源,其优点是激光束单色,易聚焦,由脉冲控制,为今后进一步研究月至周范围的分辨率打下基础.紫外汞灯产生的激发光束有较宽的频带,且焦点在 3 mm 范围内,诱导的荧光带较为复杂.紫外激光能量可调,选用较高的能级可以提高诱发荧光的灵敏度,这为研究远岸珊瑚的发光特性提供了有利的实验条件.

本实验测试了采自海南岛龙湾港水域的一段滨珊瑚柱样品,其长度为 20.4 cm,生长期在 1981 ~ 1998 年,建立了初步的测试方法和探讨了所得结果的环境意义.应指出的是该滨珊瑚总长度为 199.5 cm,生长期经历了约 170 a,这为我们今后进一步研究珊瑚的荧光特性,分析其与近陆降雨和河口径流量的关系,构建南海北部近岸珊瑚百年来荧光的变化序列,重建我国南方旱涝变化的轮回提供了重要的实验验证方法.

参 考 文 献

- 1 Isdale P. Fluorescent bands in massive corals records centuries of coastal rainfall. *Nature*, 1984, 310(16): 578
- 2 Boto K, et al. Fluorescent bands in massive corals result from terrestrial fulvic acid inputs to nearshore zone. *Nature*, 1985, 315(30): 396
- 3 Smith T J, et al. Freshwater flow from the everglades to Florida bay: A historical reconstruction based on fluorescent banding in the coral *Solenastrea bournoni*. *Bull of Mar Sci*, 1989, 44(1): 274
- 4 Scoffin T P, et al. Fluorescent and skeletal density banding in porites lutea from Papua New Guinea and Indonesia. *Coral Reefs*, 1989, 7: 169
- 5 Klein R, et al. Seasonal rainfall in the Sinai desert during the late Quaternary inferred from fluorescent bands in fossil corals. *Nature*, 1990, 345(10): 145
- 6 Susic M, et al. Fluorescent humic acid bands in coral skeletons originate from terrestrial runoff. *Mar Chem*, 1991, 33: 91
- 7 Fang L S, et al. Concentration of fulvic acid in the growth bands of hermatypic corals in relation to local precipitation. *Coral Reefs*, 1992, 11: 187
- 8 聂宝符,等.南沙群岛及其邻近礁区造礁珊瑚与环境变化的关系.北京:科学出版社,1997. 73 ~ 77
- 9 何学贤,等.珊瑚古环境信息研究进展.地球科学进展,1999, 14(5): 505
- 10 龚道溢,等.近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响.科学通报,1999, 44(3): 315