

水体浑浊度对不同造礁石珊瑚种类共生虫黄藻的影响

邢帅^{①②}, 谭焯辉^{①*}, 周林滨^{①②}, 连喜平^{①②}, 黄良民^①

① 中国科学院南海海洋研究所海洋生物资源可持续利用重点实验室, 广州 510301;

② 中国科学院研究生院, 北京 100049

* 联系人, E-mail: tanyh@scsio.ac.cn

2011-06-16 收稿, 2011-11-08 接受

国家自然科学基金重点项目(41130855)、广东省科技计划(2009B030600004)和广东省海洋渔业科技推广专项(A200899J1)资助

摘要 以多孔鹿角珊瑚(*Acropora millepora*)、鼻形鹿角珊瑚(*Acropora nasuta*)、鹿角杯形珊瑚(*Pocillopora damicornis*)、丛生盔形珊瑚(*Galaxea fascicularis*)和澄黄滨珊瑚(*Porites lutea*)为材料, 用不同浓度的灭活大肠杆菌液模拟不同梯度的水体浑浊度, 研究了造礁石珊瑚共生虫黄藻对水体浑浊度变化的响应. 结果表明, 水体浑浊度对造礁石珊瑚共生虫黄藻光合效率和密度均有不同程度影响, 且抑制作用随浑浊度的增加而加强; 不同种类的造礁石珊瑚共生虫黄藻对水体浑浊度的耐受能力不同, 块状的丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚的耐受能力较强, 枝状的多孔鹿角珊瑚、鼻形鹿角珊瑚和鹿角杯形珊瑚的耐受能力相对较弱.

关键词

水体浑浊度
造礁石珊瑚
 F_v/F_m 值
共生虫黄藻密度

珊瑚礁生态系统是海洋环境中生物多样性最丰富的生态系统, 其主要建造者是与虫黄藻互利共生的造礁石珊瑚. 虫黄藻是共生甲藻属的单细胞藻类, 它吸收其宿主珊瑚虫的代谢产物, 并依靠自身的光合作用为珊瑚虫提供能量^[1]. 珊瑚礁白化是指珊瑚失去体内共生虫黄藻或共生虫黄藻失去体内色素而导致的珊瑚礁变白现象. 造礁石珊瑚对生长环境有严格的要求, 轻微的环境变化就可能导致其健康受损而出现白化. 有许多外界压力或环境变化如病害、辐射、人为破坏和温度升高等都可以引起白化^[2-5].

水体浑浊度也是影响珊瑚生长的关键因素之一, 它间接决定着阳光的充足与否, 从而影响到石珊瑚共生虫黄藻的光合作用. Costa 等人^[6]对巴西东北部珊瑚礁海区高星珊瑚(*Montastrea cavernosa*)的调查研究表明, 强降雨季节陆源径流引起的水体浑浊度增加是导致其共生虫黄藻密度降低的重要原因. Lambo 等人^[7]在肯尼亚珊瑚礁海域的研究发现, 邻近 Sabaki 河的站点其珊瑚死亡率较高而恢复程度较低, 源自 Sabaki 河的大量悬浮沉积物和泥沙造成的水体

浑浊偏高被认为是出现这种现象的主要原因之一. 另外, 还有许多造成水体浑浊的因素是由于人类活动所引起的, 尤其是对于近岸珊瑚礁, 陆源输入的悬浮颗粒物和细菌等, 都会造成水体浑浊度的增高, 从而使虫黄藻光合作用的能力受到影响. 近年来, 三亚市旅游业的快速发展以及周围养殖场的增多等导致的污染物排放增加以及陆源泥沙和悬浮颗粒物致使的水体浑浊等, 已对三亚湾珊瑚礁生态系统造成不小的影响^[8]. 邻近三亚河口的鹿回头珊瑚礁海域, 其 COD 含量和颗粒悬浮物含量都明显高于外部海域^[9], 且其总有机碳和颗粒悬浮物含量与珊瑚覆盖率呈明显负相关关系(未发表数据), 其有机污染已较为明显. 研究表明, 定点排污、陆源输入等造成的浑浊度增加严重威胁珊瑚的健康和生存, 不过颗粒较大、贫营养的砂土等对珊瑚的影响较小, 因为珊瑚对其有较强的排除能力^[10]. 所以, 结合鹿回头海域的水环境状况、泥砂的物理沉淀性质以及珊瑚对其排除效应, 本实验不采用大颗粒的砂土等物质, 而是采用灭活的大肠杆菌液来模拟浑浊度梯度的压力.

关于水体浑浊度对珊瑚生长的影响,国内外已有不少野外调查研究,但室内模拟研究较少,国内尚未见报道.所以,本实验选择海南三亚湾鹿回头岸段常见的5种造礁石珊瑚为研究对象,用不同浓度的灭活大肠杆菌液模拟不同的水体浑浊度梯度,通过观测珊瑚共生虫黄藻密度和光合作用效率的变化来间接反映石珊瑚共生体对水体浑浊度胁迫的响应,以期对珊瑚对浑浊度胁迫响应机制的研究提供科学依据.

1 材料与方 法

(i) 珊瑚的采集与处理. 实验所用珊瑚于2009年4月采自于海南省三亚湾鹿回头海域,适应性培养(水温26℃,光照12h)2d后开始实验,实验持续1周.实验室位于中国科学院海南热带生物实验站.

(ii) 实验方法. 实验在4个70L珊瑚水族缸中进行.每缸养殖珊瑚个体6~9块.设1个对照组,不加大肠杆菌液;3个实验组,分别加入50,150和250mL浓度为 $(1.92 \pm 0.24) \times 10^8$ ind/mL的大肠杆菌灭活液,定义为低浊度、中浊度和高浊度组.实验期间,每日选取不同时间段取样,虫黄藻光化学效率每天上午、下午和晚上各测定1次,虫黄藻密度每天测定1次.

(iii) 共生虫黄藻光合效率的测定. 珊瑚样品经过20min的暗适应后,用德国Walz公司生产的超便携调制荧光仪(MINI-PAM)测定样品的PS II(光系统II)的最大光化学效率 F_v/F_m 值. F_0 指初始荧光值, F_m 为最大荧光值, F_v ($F_v = F_m - F_0$)是指暗适应状态下当所有的非光化学过程处于最小时的 最大可变荧光, F_v/F_m 值是指PS II的最大光化学量子产量,或称为开放的PS II反应中心捕获激发能的效率. F_v/F_m 值降低表示胁迫使PS II受到损害,降低了PS II原初光能转化效率,使PS II潜在活性中心受损,光合作用原初反应过程受到抑制^[6,11].

(iv) 共生虫黄藻密度的测定. 用经0.45 μm滤膜过滤后的海水冲洗石珊瑚并量出冲洗液体积,用血球计数法计算共生虫黄藻数量,用锡纸法测量石珊瑚表面积,进而计算出石珊瑚表面共生虫黄藻密度^[12].

(v) 数据分析与处理. 用SPSS 17.0对各个实验组中的对应指标值进行差异显著性分析,实验结果用SigmaPlot 10.0绘图.

2 结果与分析

2.1 水体浑浊度胁迫对造礁石珊瑚共生虫黄藻 F_v/F_m 值的影响

在整个实验过程中,对照组的5种不同种类石珊瑚生长状况良好, F_v/F_m 值均处于稳定状态,无白化现象.而实验组的石珊瑚对水体浑浊度的响应情况差别较大,不同珊瑚种类对相同浑浊度的耐受能力不同,同种珊瑚对不同浑浊度的耐受性也有差异,这些差异性在 F_v/F_m 的变化上表现的十分明显.

图1(a)~(c)是不同种枝状珊瑚对不同浑浊度的反应情况,多孔鹿角珊瑚、鼻形鹿角珊瑚和鹿角杯形珊瑚的实验组 F_v/F_m 值在添加大肠杆菌后很快受到抑制,同时具有相同的趋势.中浊度组和高浊度组, F_v/F_m 值在60h内迅速降为0,珊瑚完全白化;低浊度组中,鼻形鹿角珊瑚在80h后完全白化,而多孔鹿角珊瑚和鹿角杯形珊瑚在100h后完全白化.统计结果显示,对于多孔鹿角珊瑚和鹿角杯形珊瑚,对照组与3个实验组之间 F_v/F_m 值差异极显著($P < 0.01$),低浊度组与高浊度组之间差异显著($P < 0.05$),其他组间无显著性差异;对于鼻形鹿角珊瑚,对照组与低浊度组之间 F_v/F_m 值差异显著($P < 0.05$),对照组与中浊度和高浊度实验组间差异极显著($P < 0.01$),低浊度组与其他2个实验组间差异也极显著($P < 0.01$),中浊度组与高浊度组间无显著性差异.

丛生盔形珊瑚对浊度的耐受性大于上述3种枝状珊瑚(图1(d)),其低浊度组在实验开始阶段 F_v/F_m 值降到 0.57 ± 0.02 ,之后逐渐回升到0.7并保持稳定;中浊度组在实验前半段 F_v/F_m 值有所波动,但在80h后迅速下降,100h后完全白化;高浊度组在实验开始后70h内 F_v/F_m 值快速下降到 0.02 ± 0.01 ,在70h后出现小的起伏,于128h完全白化.统计结果表明,对照组与低浊度组 F_v/F_m 值无显著差异,而与中、高浊度组差异极显著($P < 0.01$);低浊度组与中、高浊度组 F_v/F_m 值差异极显著($P < 0.01$);中浊度组与高浊度组无显著差异.

澄黄滨珊瑚对浊度的耐受性也较强(图1(e)),其低浊度组的 F_v/F_m 值处于稳定状态;中浊度组和高浊度组的 F_v/F_m 值在实验前半段波动中下降到0.6以下,但在80h后迅速下降直至完全白化.统计结果表明,对照组和低浊度组的 F_v/F_m 值间无显著差异,与中、高浊度组间差异极显著($P < 0.01$);低浊度组也与中、高

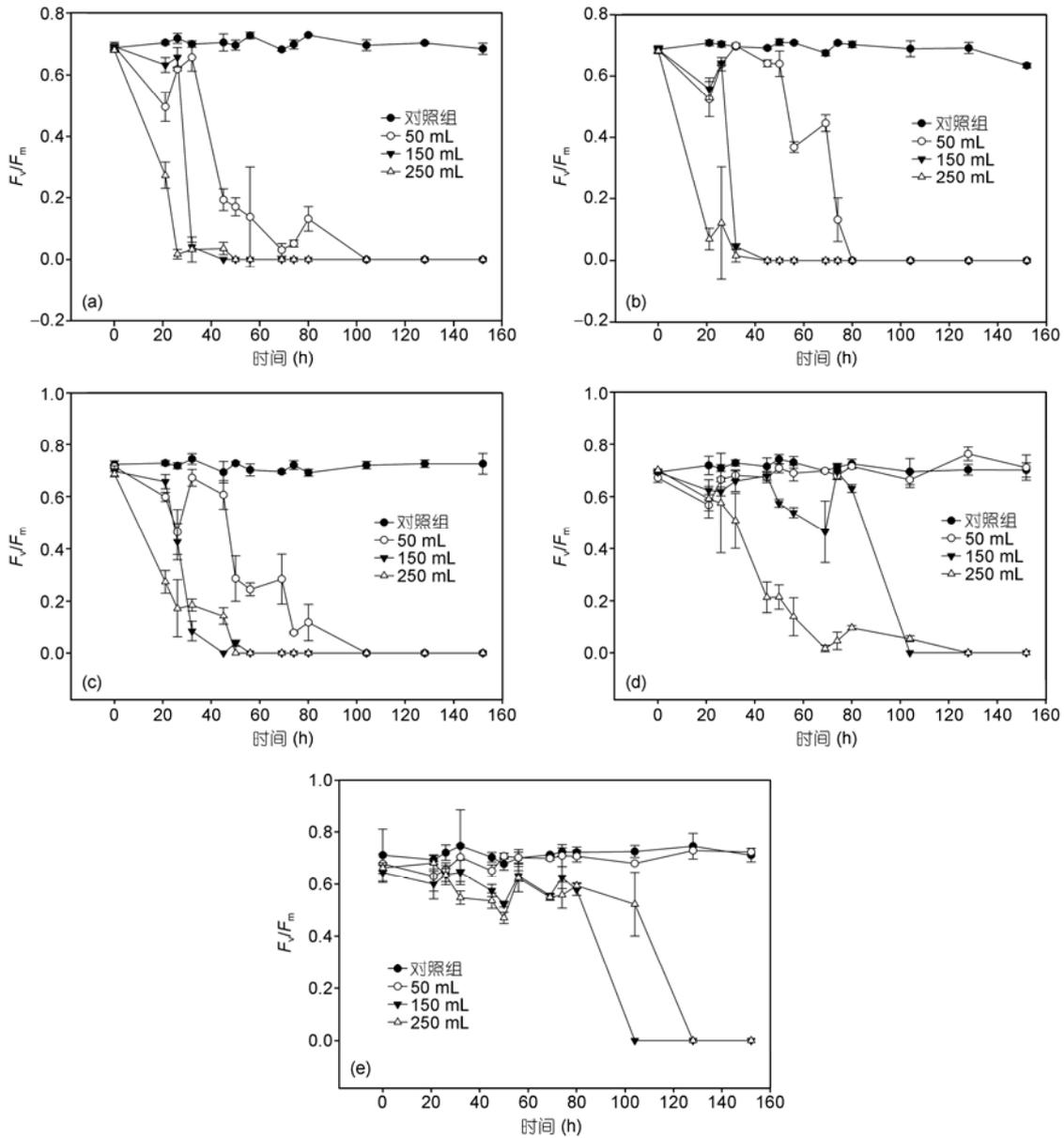


图1 不同浑浊度对共生虫黄藻光合效率的影响

(a) 多孔鹿角珊瑚; (b) 鼻形鹿角珊瑚; (c) 鹿角杯形珊瑚; (d) 丛生盔形珊瑚; (e) 澄黄滨珊瑚

两组 F_v/F_m 值间差异极显著 ($P < 0.01$); 中浊度组和高浊度组的 F_v/F_m 值间无显著差异。

2.2 水体浑浊度胁迫对造礁石珊瑚共生虫黄藻密度的影响

在整个实验过程中, 5种石珊瑚种类共生虫黄藻的密度对水体浑浊度的响应情况也不一致, 其差异性在不同珊瑚种之间以及同种珊瑚的不同浑浊度梯度间均有明显体现。

多孔鹿角珊瑚和鹿角杯形珊瑚虫黄藻密度变化趋势相似, 对照组的共生虫黄藻密度实验结束时与开始时相比基本保持不变, 而3个实验组的共生虫黄藻密度从实验开始时逐渐下降, 中浊度组和高浊度组在第3天时降为0, 而低浊度组到第4天时降为0, 珊瑚完全白化(图2(a), (c))。

鼻形鹿角珊瑚对照组的共生虫黄藻密度实验结束时与开始时相比降低了约1/3, 3个实验组的共生虫黄藻密度从实验开始时逐渐下降, 中浊度组和高浊

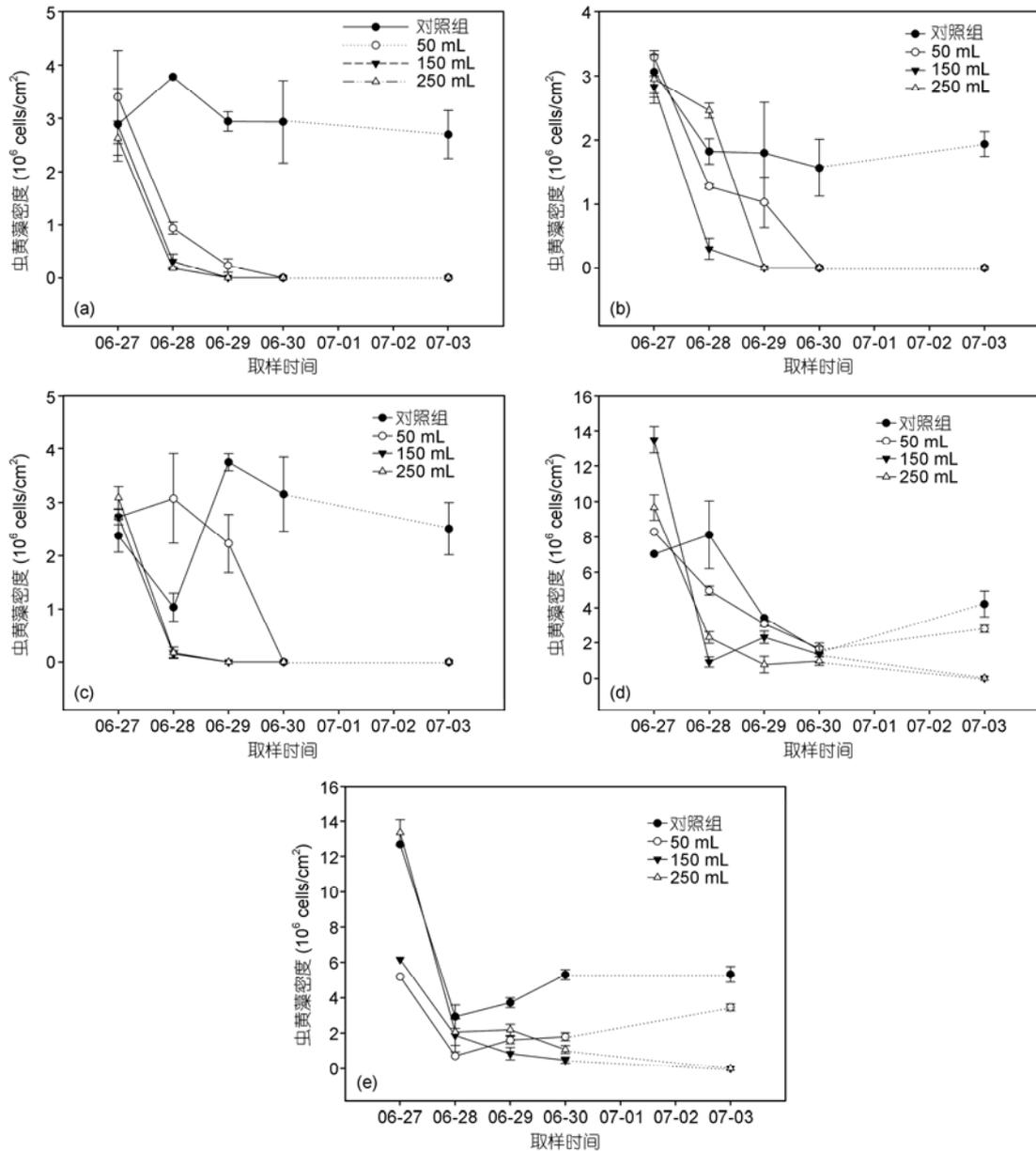


图 2 不同浑浊度对共生虫黄藻密度的影响

(a) 多孔鹿角珊瑚; (b) 鼻形鹿角珊瑚; (c) 鹿角杯形珊瑚; (d) 丛生盔形珊瑚; (e) 澄黄滨珊瑚

度组在第 3 天时降为 0, 而低浊度组到第 4 天时降为 0, 珊瑚完全白化(图 2(b)).

丛生盔形珊瑚对照组的共生虫黄藻密度实验结束时与开始时相比降低了约 40%; 低浊度组在实验前半段逐渐下降到初始值的 20%, 后面有所回升, 实验结束时降低了约 66%; 而中浊度组在前两天急剧下降了约 93%, 后几天有小的波动, 实验结束时完全白化; 高浊度组在前两天急剧下降了约 76%, 后几天

缓慢降低到 0, 珊瑚完全白化(图 2(d)).

澄黄滨珊瑚对照组和低浊度组的共生虫黄藻密度在开始阶段快速下降, 后半段有所回升, 但相对于初始值较低, 实验结束时与开始时相比分别降低了约 58%和 34%; 而中浊度组和高浊度组在前两天分别迅速下降了约 70%和 85%, 后几天缓慢降低到 0, 珊瑚完全白化(图 2(e)).

为了便于比较, 表 1 列出了 5 种珊瑚各实验组共

表1 3种浑浊度下5种珊瑚中虫黄藻密度和 F_v/F_m 值降低为零的时间^{a)}

	虫黄藻密度降为0的时间(d)			F_v/F_m 值降为0的时间(d)		
	低浑浊度	中浑浊度	高浑浊度	低浑浊度	中浑浊度	高浑浊度
多孔鹿角珊瑚	3	2	2	4.3	1.9	2.1
鼻形鹿角珊瑚	3	2	2	3.3	1.9	1.9
鹿角杯形珊瑚	3	2	2	4.3	2.3	2.1
丛生型珊瑚	a	≥4	≥4	c	4.3	5.3
澄黄滨珊瑚	b	≥4	≥4	c	4.3	5.3

a) a, b 和 c 标示组均未降为 0. a 表示实验结束时相对初始值降低了 66%; b 表示实验结束时相对初始值降低了 34%; c 表示实验结束时相对初始值保持不变

生虫黄藻密度和 F_v/F_m 值降为 0 的时间, 时间单位均以天计. 由于实验开始后的第 4 和第 5 天未进行虫黄藻密度的测量, 丛生型珊瑚和澄黄滨珊瑚的中浊度和高浊度组虫黄藻密度第 3 天尚未降为 0, 而第 6 天均已为 0, 故此 4 组虫黄藻密度降为 0 的时间在表 1 中均以“≥4”表示. 从表中可清楚看出, 各石珊瑚共生藻对水体浑浊度的耐受能力是有差异的.

3 讨论

造礁石珊瑚生存所需要的能量主要由其共生虫黄藻的光合作用产物提供, 而共生藻的光化学效率和超微结构等生理状况也受到其宿主新陈代谢情况的影响, 二者组成一个共生功能体^[13]. 珊瑚白化即是由于其体内共生藻的排出或共生藻色素含量的减少而直接导致的, 因此, 共生藻的能力和特性就成为珊瑚礁生态系统研究中必不可少的元素. 叶绿素荧光技术具有简捷和不损伤植物体等特点, 适宜于珊瑚共生藻的研究, 本研究选用了荧光参数 F_v/F_m 值, 可反映植物潜在的最大光合能力, 和密度一样, 也是表征共生藻生长状态的重要指标^[14,15].

本实验结果表明, 不同的水体浑浊度对造礁石珊瑚共生虫黄藻光合效率和密度均有不同程度的抑制作用, 且抑制作用随浑浊度的增加而加强. 如表 1 所示, 除丛生型珊瑚和澄黄滨珊瑚的低浊度组外, 其他实验组虫黄藻的 F_v/F_m 值和密度最终均降为 0, 珊瑚完全白化, 且在高浑浊度水体中白化速度较快. Costa 等人^[6]在巴西东北部珊瑚礁海区和 Lambo 等人^[7]在肯尼亚珊瑚礁海域的调查研究均表明, 陆源输入引起的水体浑浊度增加是造成珊瑚高白化率和低恢复程度的主要原因之一. 珊瑚的生长发育对环境有严格的要求, 充足的阳光是必不可少的因素之一^[16].

本实验中, 悬浮的大肠杆菌液导致水体中的光线变弱, 从而可能影响共生虫黄藻的光合作用, 使其 F_v/F_m 值和密度均降低, 最终造成了珊瑚的白化. 近年来的研究表明, 水体浑浊对珊瑚共生藻的密度和光化学效率均有不同程度的胁迫效应, 如李淑等人^[17]在三亚鹿回头和小东海珊瑚礁海区的研究发现, 浑浊度大的水层珊瑚共生虫黄藻密度较低; Piniak^[18]对两种夏威夷造礁珊瑚 (*Porites lobata*, *Montipora capitata*) 进行的胁迫实验表明, 水体浑浊会显著降低其 PS II 光化学效率 (F_v/F_m 值), 且受损后很难恢复.

对 5 种珊瑚的实验结果进行对比可以看出, 不同种类的造礁石珊瑚共生虫黄藻对水体浑浊度的耐受能力不同, 块状的丛生型珊瑚和澄黄滨珊瑚的耐受能力较强, 枝状的多孔鹿角珊瑚、鼻形鹿角珊瑚和鹿角杯形珊瑚的耐受能力相对较弱. 近年来的监测和实验均发现珊瑚白化现象具有明显的种类差异, 如 Stimson 等人^[19]分析比较了整个印度-太平洋区系珊瑚礁的白化现象, 发现鹿角珊瑚和杯形珊瑚等枝状珊瑚较滨珊瑚等块状珊瑚更易白化; 朱葆华等人^[20]研究表明在相同胁迫下不同种类的珊瑚损失共生藻的数量有很大差别, 以枝状的鹿角珊瑚损失的最多; 李淑等人^[5]在南沙群岛监测到的白化事件也发现, 枝状的杯形珊瑚和鹿角珊瑚白化最严重, 块状的滨珊瑚白化比例相对较低. 对浑浊度的研究也有相类似的结果, 如 Huang 等人^[21]在澎湖列岛马公湾珊瑚礁海区的研究表明, 水体浑浊度较大的近岸区几乎全为块状珊瑚所主导, 枝状的鹿角珊瑚等所占比例甚小. 对于这种珊瑚白化的种间差异现象, 学者们多认为虫黄藻密度的高低与珊瑚礁抗白化的能力可能有着内在的联系, 虫黄藻密度越高抵抗白化的能力就越强^[17,22,23]. 从本实验珊瑚共生虫黄藻密度的初

始值可以看出,块状的澄黄滨珊瑚和丛生盔形珊瑚相对于枝状的多孔鹿角珊瑚、鼻形鹿角珊瑚和鹿角杯形珊瑚来说,具有较高的共生虫黄藻密度(图2)。结合本实验的研究结果,我们认为虫黄藻密度高的造礁石珊瑚共生体,具有较强的耐受浑浊水体的能力,这可能是其相对较强的抗白化能力的原因之一。

本实验在对不同处理组的同种珊瑚进行共生虫黄藻密度测量时,由于取样的部位不同,所测定出的结果会有一些的差异,有些数值的误差也偏大,但其总体趋势较为明显,仍能较好地说明实验过程中虫黄藻密度的变化情况。对照组珊瑚的共生藻密度均出现了波动或降低的现象,这一方面是取样和计数的误差,另一方面可能是采集后的珊瑚对新环境尚未完全适应,但通过对照组和实验组的对比观察,浑浊度的影响是较为明显的。

同密度一样,不同种类造礁石珊瑚共生藻的光合效率对水体浑浊度的耐受情况也有很大差异。对于3种枝装珊瑚,其各实验组中的 F_v/F_m 值在实验结束时均降为0;对于丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚,虽然其低浊度组中共生虫黄藻的密度在实验结束时相对初始值较低,但其 F_v/F_m 值一直保持稳定(图1)。可见,这2种珊瑚共生藻的光合效率较稳定,能适应一定的浑浊低光照环境,这可能是其较强抗白化能力的原因之一,也有利于受损后的恢复。由于三亚湾海域陆源输入增多、悬浮沉积物增加以及潜水活动的影响等,海水浑浊度对珊瑚的胁迫日益严重,耐受能力强的珊瑚种类可能逐渐成为优势种。

当前,鹿回头珊瑚礁不仅受到采挖和破坏性的捕捞等直接外力破坏,陆源排放以及养殖活动等造成的水环境恶化,如营养盐和有机物超标、悬浮颗粒

物增加以及水体浑浊等也严重威胁到珊瑚的健康生长^[8,9,24]。加强综合管理,对珊瑚礁污染进行监测并采取针对性的保护措施是鹿回头珊瑚礁生态系统恢复和改善的唯一途径^[8,24]。

本文是在室内做的初步模拟研究,还有大量工作需要进一步深入,比如受迫珊瑚在适宜自然条件下的恢复状况和恢复时间,不同种类珊瑚的响应机理等。

4 结论

本实验用不同浓度的灭活大肠杆菌液模拟不同的水体浑浊度梯度,研究了海南三亚湾鹿回头岸段常见的5种造礁石珊瑚共生藻对水体浑浊度的响应,结果显示:

(1) 不同的水体浑浊度对造礁石珊瑚共生虫黄藻光合效率有不同程度的抑制作用,并对共生藻密度产生影响,且抑制作用随浑浊度的增加而加强。除丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚的低浊度组外,其他实验组虫黄藻的 F_v/F_m 值和密度最终均降为0,珊瑚完全白化,高浑浊度水体中白化速度较快。

(2) 不同种类的造礁石珊瑚共生虫黄藻对水体浑浊度的耐受能力不同,块状的丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚的耐受能力较强,枝状的多孔鹿角珊瑚、鼻形鹿角珊瑚和鹿角杯形珊瑚的耐受能力相对较弱。

(3) 块状珊瑚相对于枝状珊瑚所具有的高共生虫黄藻密度,可能是其具有较强的耐受浑浊水体能力,从而具有较强的抗白化能力的原因之一。

(4) 低浊度组的丛生盔形珊瑚和澄黄滨珊瑚 F_v/F_m 值一直保持稳定,其共生藻具有较稳定的光合效率,能适应一定的低浑浊环境,可能是其较强抗白化能力的原因之一。

致谢 感谢中国科学院南海海洋研究所三亚热带海洋生物实验站对本工作的支持,感谢中国科学院南海海洋研究所杨剑辉老师对珊瑚种类的鉴定和严宏强老师对实验的帮助。

参考文献

- 1 Muscatine L. The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in reef corals. In: Dubinsky Z, ed. Ecosystems of the World: Coral Reefs. Amsterdam: Elsevier Science, 1990. 75-87
- 2 Gleason D, Wellington G. Ultraviolet radiation and coral bleaching. *Nature*, 1993, 365: 836-837
- 3 Kushmaro A, Loya Y, Fine M, et al. Bacterial infection and coral bleaching. *Nature*, 1996, 380: 396
- 4 Hughes T, Baird A, Bellwood D, et al. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 2003, 301: 929
- 5 李淑, 余克服, 陈天然, 等. 珊瑚共生虫黄藻密度结合卫星遥感分析 2007 年南沙群岛珊瑚热白化. *科学通报*, 2011, 56: 747-755
- 6 Costa O, Leao Z, Nimmo M, et al. Nutrifcation impacts on coral reefs from northern Bahia, Brazil. *Hydrobiologia*, 2000, 440: 307-315

- 7 Lambo A, Ormond R. Continued post-bleaching decline and changed benthic community of a Kenyan coral reef. *Mar Pollut Bull*, 2006, 52: 1617–1624
- 8 张乔民, 施祺, 陈刚, 等. 海南三亚鹿回头珊瑚岸礁监测与健康评估. *科学通报*, 2006, 51(增刊II): 71–77
- 9 黄良民, 张恩, 王汉奎, 等. 三亚湾生态环境与生物资源. 北京: 科学出版社, 2007. 38–49
- 10 Weber M, Lott C, Fabricius K E. Sedimentation stress in a scleractinian coral exposed to terrestrial and marine sediments with contrasting physical, organic and geochemical properties. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2006, 336: 18–32
- 11 Schreiber U, Schliwa U, Bilger W. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynth Res*, 1986, 10: 51–62
- 12 Simkiss K. Phosphates as crystal poisons of calcification. *Biol Rev*, 1964, 39: 487–504
- 13 Zhu B, Pan K, Wang G. Effects of host starvation on the symbiotic dinoflagellates from the sea anemone *Stichodactyla mertensii*. *Mar Ecol*, 2011, 32: 15–23
- 14 林阿朋, 王超, 乔洪金, 等. 青岛海域漂浮和沉降浒苔的光合作用研究. *科学通报*, 2009, 54: 294–298
- 15 Gao S, Chen X, Yi Q, et al. A strategy for the proliferation of *Ulva prolifera*, main causative species of green tides, with formation of sporangia by fragmentation. *PLoS ONE*, 2010, 5: e8571
- 16 Wells J, Moore R. *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part F, Coelenterata*. Kansas: Geological Society of American Press, 1956. 328–444
- 17 李淑, 余克服, 施祺, 等. 南海北部珊瑚共生虫黄藻密度的种间与空间差异及其对珊瑚礁白化的影响. *科学通报*, 2007, 52: 2655–2662
- 18 Piniak G A. Effects of two sediment types on the fluorescence yield of two Hawaiian scleractinian corals. *Mar Environ Res*, 2007, 64: 456–468
- 19 Stimson J, Sakai K, Sembali H. Interspecific comparison of the symbiotic relationship in corals with high and low rates of bleaching-induced mortality. *Coral reefs*, 2002, 21: 409–421
- 20 朱葆华, 王广策, 黄勃, 等. 温度、缺氧、氨氮和硝氮对3种珊瑚白化的影响. *科学通报*, 2004, 49: 1743–1748
- 21 Huang Y C A, Hsieh H J, Huang S C, et al. Nutrient enrichment caused by marine cage culture and its influence on subtropical coral communities in turbid waters. *Mar Ecol Prog Ser*, 2011, 423: 83–93
- 22 Warner M E, Fitt W K, Schmidt G W. Damage to photosystem II in symbiotic dinoflagellates: A determinant of coral bleaching. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96: 8007–8012
- 23 Salih A, Larkum A, Cox G, et al. Fluorescent pigments in corals are photoprotective. *Nature*, 2000, 408: 850–853
- 24 施祺, 赵美霞, 张乔民, 等. 海南三亚鹿回头造礁石珊瑚生长变化与人类活动的影响. *生态学报*, 2007, 27: 3316–3323

Effects of water turbidity on the symbiotic zooxanthella of hermatypic corals

XING Shuai^{1,2}, TAN YeHui¹, ZHOU LinBin^{1,2}, LIAN XiPing^{1,2} & HUANG LiangMin¹

¹Key Laboratory of Marine Bio-resources Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301, China;

²Graduate University of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China

Five species of reef-building coral (*Acropora millepora*, *Acropora nasuta*, *Pocillopora damicornis*, *Galaxea fascicularis* and *Porites lutea*) were used to study the effects of water turbidity stress on the symbiotic zooxanthella. The gradients of water turbidity were simulated using a solution containing different concentrations of inactivated *Escherichia coli*. The results revealed that the photosynthetic efficiency and density of the symbiotic zooxanthella were both restricted by the water turbidity, and that high turbidity corresponds to high inhibitory action. The results also showed that the tolerance of the five symbiotic zooxanthella to water turbidity differed, with the massive corals *Galaxea fascicularis* and *Porites lutea* having strong tolerance, and that of the branching corals *Acropora millepora*, *Acropora nasuta* and *Pocillopora damicornis* being relatively weak.

water turbidity, hermatypic corals, F_v/F_m , the density of symbiotic zooxanthella

doi: 10.1360/972011-1184