

和你想的不一样！谈谈家庭珊瑚缸的水流

By 雅安 benben



写在前面的：

由于最近单位上的事情实在太多太多，帖子也一直都没有更新，折戟靓缸比赛第一季也让我有点不爽（自己认为不管是从最后缸的景色和整个成长过程，确实找不到输给第一的理由，也可能是我自己太看重这个荣誉，笑。。。），但是承诺的终究要实现，我还是挤出了一点时间尝试着写了一下我自己关于水流的理解，这篇纯属原创，所以难免会有很多不正确的地方和漏洞（后期有时间我可能还会进行补充和修正），个人只希望能给喜欢珊

瑚的朋友提供一点点小的参考，获得一点共鸣，也就倍感开心了。。

几个重要的名词解释

. 动量边界层 (Momentum Boundary Layer)：围绕水下物体（珊瑚）周围的一薄层滞水，MBL 的厚度与水流速度成反比。

. 层流 (Laminar Flow) 和湍流 (Turbulent Flow)：粘性流体运动有两种形态，即层流和湍流。这两种形态的性质截然不同。层流是流体运动规则，各部分分层流动互不掺混，质点的轨线是光滑的，而且流动稳定。湍流的特征则完全相反，流体运动极不规则，各部分激烈掺混，质点的轨线杂乱无章，而且流场极不稳定。这两种截然不同的运动形态在一定条件下可以相互转化。

. 碱度：溶液中和酸的能力。碱度可以通过几种方式体现 (meq/L、PPm、mg/L)，我们家庭珊瑚养殖经常使用碳酸盐硬度(dKH)，其实都是体现了碱度的高低。

. 雷诺数 (Reynold' s Number)：雷诺数是流体力学中表征粘性影响的相似准则数,等于 $\text{Inertia} / \text{Viscosity}$ （惯性/粘度）。

水流可以带来什么

. 浓度梯度的改变

想象一下，如果一瓶充分溶解的糖水或者盐水，静置在桌面上，当溶液处于完全静止的时候，液体的各个部分浓度都是一致的，但当水流速度加快的时候，微环境中就会产生

浓度的差异，用一张图片（图 1）来表示（Jake adams , water flow is more important for corals than light）

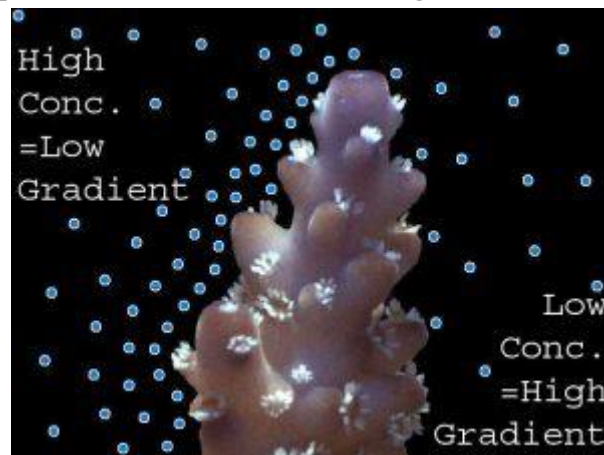


图 1 溶质梯度示意图

我们可以看到，左侧的水体中溶质浓度高，和珊瑚本身体内溶质浓度差异小（珊瑚体内一般都属于高浓度溶质），而右边的溶质浓度较小，和珊瑚本身体内溶质浓度差异较大，实验已经证明，左边的情况在水流较低的情况下出现，右边的则相反，在水流较高的情况下出现，而只有产生浓度梯度差，溶质才容易发生交流和扩散，所以不难理解，在高水流的条件下，珊瑚的光合作用（虫黄藻）和呼吸作用所需要的原料可以更快地输送，而副产物可以更好地排出，总之，高水流可以带来高的浓度梯度差，有利于物质的交流。

. 产生湍流

这是一个纯物理学的结论，如果你了解层流和湍流的概念就会知道，湍流的特点是随机性，通常被认为是粗糙和混乱的。层流与湍流相反，其特征是水流方向均匀。而湍流的产生很直观的表现就是当快速的水流在水体中遇到障碍物的时候，在障碍物的表面就容易产生湍流，水流速度越大，在障碍物表面的微环境下产生的湍流就越大，而且，当流体

接触到增加湍流的表面，在物体的下游会出现称为涡流的更小的湍流单元，产生旋涡，当漩涡形成时，它们会产生负压从而产生拉力（伯努利原理）。然而请记住一点，水族箱中有效的湍流并不是我们很多玩家所认为的那样是两个造浪水流碰撞所产生的乱流，这种乱流在水族箱这个大环境下当然也是湍流，但是相对珊瑚的个体来说，碰撞后的所谓“乱流”冲向珊瑚，相对于珊瑚表面的环境大小来说，只不过是一种层流罢了，真正有效的湍流是快速流动的单向水流流过珊瑚的时候被珊瑚的表面所拦截产生的混乱的水流，这是个非常重要的概念，请记住这一点，这对我们设置造浪模式有很大参考价值。

. 对雷诺数的影响

雷诺数（RE）作为惯性和粘度谁更占优势的一个描述，也是衡量流体表面湍流和层流的标准，越大，惯性将更占优势，产生的流也更趋向于湍流，而在水族箱中，雷诺数中的惯性由速度（水流和水流撞击物体，即珊瑚的相对速度，珊瑚静止，也就是完全取决于水流速度），撞击物体的表面积决定，珊瑚和水流接触的表面积越大，雷诺数也越大，也越容易产生湍流。

水流对珊瑚的影响（互动）

. 对光合作用和呼吸作用的影响

我们都知道，珊瑚虽然是一种腔肠动物，但是其能量来

源却更多来源于与其共生的一种藻类 ---- 虫黄藻（*Zooxanthella*），虫黄藻利用光合作用为珊瑚提供大部分能量（比率可以达到百分之九十，当然这个比率不是固定的），所以，虫黄藻光合作用的效率对珊瑚生长有着至关重要的作用，而在光源一定的情况下，光合作用重要的原料二氧化碳的输入效率很大程度决定着光合作用的效率，前面我们已经提到，水流可以在珊瑚周围产生浓度梯度，产生湍流，让边界层变薄，有利于扩散，所以，快速流动的水流会让二氧化碳扩散的效率提高从而提高光合作用的效率，对于呼吸作用也是一样，只不过提高扩散效率的对象变成了氧气，这一结果在很多实验当中已经被验证过，图 2（水流对呼吸作用的影响，by jake adms）

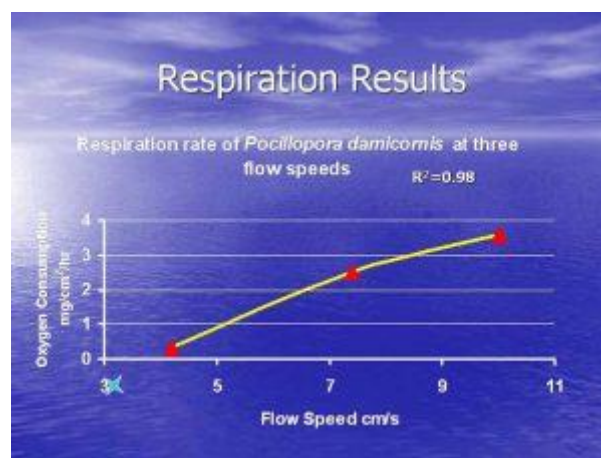


图 2 水流对呼吸作用的影响，线性正相关

而且，对于珊瑚来说，当光照强度达到一定程度的时候，光照强度再增加，光合作用效率将不会再提升，再继续增加到一定程度，光照甚至会使光合作用效率下降，这称为光抑制，这个点称为光抑制点，在我们的珊瑚缸中，大于这个点的光照强度会导致珊瑚被“晒伤”，然而，这只是在水流一定

的条件下，很多实验已经证实，提高水流，可以提高该点，简单点说，就是提高水流可以让我们的珊瑚承受更高的光照，提高光合作用的效率，原理在于光合作用产生的氧自由基过多会对珊瑚产生伤害，而水流的提高能够带走这些氧自由基，从而让光合作用能够更高而不对珊瑚产生伤害（高光的时候请增加水流）。（图3）

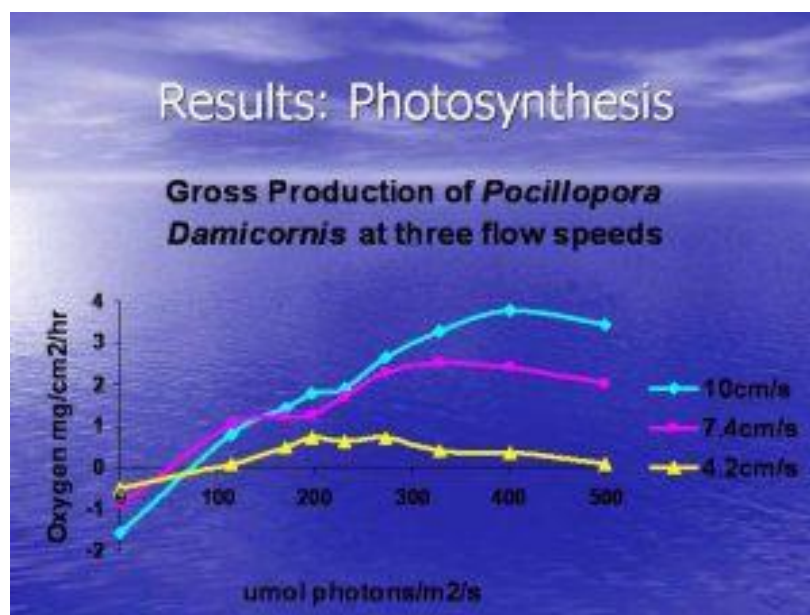


图3 三条曲线不同的水流速度，横轴是光照强度，纵轴是光合作用效率（试验用珊瑚 *Pocillopora*），可以明显看到高流速下光补偿点提高

. 对捕获微粒的影响

这应该是影响当中唯一一个完全用生物学概念来解释的，很多文章描述都是从实验结果来印证的，水流的通过会让珊瑚虫更加舒展进而提升其对微粒的捕获，这应该是珊瑚

对水流的一种生理反应，水流带来食物，食物需要触手捕获，从这个程度上来说，珊瑚似乎也是一种有大脑的生物，但是只针对这一环节，并不是水流越大越好，Sebens 等人在 1997 年的实验就已经论证过某种 nps 珊瑚的最佳捕食水流速度是在 10-15cm/s（sps 应该会大于这个流速），一定注意的是这个流速只是针对捕获微粒这一环节，珊瑚获取营养的方式和环节很多，在我们的家庭水族箱中，很可能白天光照强度高时主要还是要考虑照顾光合作用的环节，只是在喂食颗粒物碎屑的时候需要考虑稍微降低水流的速度。

.对珊瑚白化（bleaching）的影响

水流对珊瑚白化的影响一直以来都是毋庸置疑的，原因是水流提高了珊瑚抵抗胁迫的能力，比如过高的光照引起的光抑制，高水温引起的白化等等（Nakamura, T., R. Van Woesik, H. Yamasaki. 2005.），这其实在前文中提到的让珊瑚的光胁迫点提高中已经很明确，近年来的一些研究体现了水流在白化珊瑚的自我恢复中所起的作用，最经典的是 Leonard ho 在 nature 杂志上发表的成果，一项针对白化珊瑚的实验表明，白化的珊瑚带走其表面碎屑等沉积物的能力比正常珊瑚低 3 到 15 倍，最明显的 a 属珊瑚，低了 15 倍，而加强的水流可以为这样的珊瑚带走沉积物，也就是说，越是白化、皮薄的珊瑚，对水流的要求就越高。（这是不是说在一些 ULNS 系统珊瑚缸中对水流的要求将会变得更高）

.对珊瑚形态的影响

在自然海水中一些研究表明，在水流量较低的礁区和水流量较高的礁区同种珊瑚的生长形态有区别（Bottjer, David J. 1980 Branching morphology of the reef coral *Acropora cervicornis* in different hydraulic regimes.），在缓流礁区生长的珊瑚枝条间距更大，更倾向于直立生长，而急流礁区生长的珊瑚枝条更密，更倾向于水平向生长，且倾向于背向水流来向方向生长，其实在我自己的水族箱中这一趋势也非常明显，有一颗吞牛处在缓流区的吞牛倾向于长枝状生长，而这一品种的吞牛平常是呈簇状生长的。

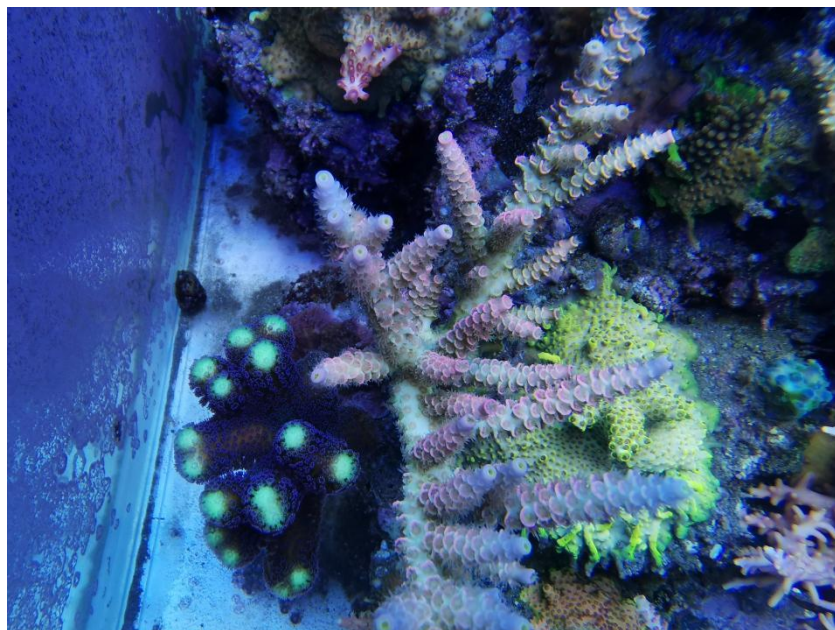


图4 我自己水族箱中的吞牛，水流量较低，长枝状生长

这种情况的出现需要回应一下这个部分的大标题中的互动，虽然珊瑚只是一种看起来极为“被动”的腔肠动物，但是，它或许并不是看起来那么饭来张口，在不同水流中展现出的不同形态或许正是珊瑚的自我调整，低水流中珊瑚枝

丫生长形态更为伸展正是提高了其对于水流的“阻挡”，就像是主动伸出手去“抓水”一般，更多的表面积，更多的湍流形成，更多的扩散，更多的能量获取。。。在 JAKE adams 的水流系列文章的第二部分中提到这种情况，推测的机理是珊瑚自身会分泌一种物质，这种物质让枝条之间互相排斥，而这种物质的分泌量受水流的影响，珊瑚就依靠这种机制来调节其枝条生长的密度和高度。（虽然这个听起来有点玄学，但是从生物学的角度来说，确实有不少物种采取类似的机制）

. 该怎么做

. 正确地制造湍流

通过前面的描述，我们明确了一点，与光合、呼吸等效率呈正相关的是流经珊瑚表面的水的流速，而通过第一大部分中对于湍流的描述我们也知道，相对珊瑚的个体来说，碰撞后的所谓“乱流”冲向珊瑚，相对于珊瑚表面的环境大小来说，只不过是一种层流罢了，真正有效的湍流是快速流动的单向水流流过珊瑚的时候被珊瑚的表面所拦截产生的混乱的水流，所以我们在造浪设置的时候，所谓的制造乱流并不是要在水族箱中制造多少乱流，而是要让珊瑚的多个表面能够有快速流动的水流，很多玩家在摆放造浪的时候喜欢放置在水族箱的两侧，如果两个造浪同时开启且高功率的时间点过于一致，那么中间水流会形成碰撞，从而形成所谓的“乱流”，但这种乱流只是相对于水族箱，冲向珊瑚的不过是速

度减缓的单向层流而已，所以，真正要实现水流的大规模流动，我们其实应该让对向放置的两个造浪高功率时间错开（加上造浪头也错开），然后调大单个造浪的功率，这样水族箱中的水就会在一个时间段形成向某一个方向的大的流动，另外一个时间段形成向另外一个方向的大规模流动，加上珊瑚的合理摆放，让经过珊瑚表面的水流始终是速度足够的单向层流，接触到珊瑚表面的边界层后，形成围绕珊瑚表面真正被珊瑚所需要的湍流，其实如果细心的朋友读过 ecotech 的 mp 系列造浪的说明书就会发现，eco 建议的放置于水族箱两侧的对向设置造浪采用反联动方式（也就是一个造浪功率大的时候，另外一个功率变小），而设置于水族箱同侧的时候采用联动方式（同步功率大小），这都是为了制造水族箱中水体的大规模流动，当然，水族箱中有一些水流的碰撞对于水流尽可能多的覆盖水族箱中的所有珊瑚也很有好处，但总体来看，制造大规模的水流移动始终是我们的目标。

. 不用太过纠结 turn over

Jack adams 的珊瑚水流系列文章中就提到了这一点，现在很多玩家比较注重造浪泵的流量是水体的十几倍、二十倍这样的参数，但是同一个造浪，在水族箱中的方向不同，水族箱中珊瑚的摆放不同，对于某一特定位置的珊瑚能提供的水流速度也就不同，而这一点恰恰是珊瑚最需要的，所以，让珊瑚更多暴露在通透的水流当中可能比关注这个 turnover（循环次数）要重要得多，在我自己多次养殖 sps

的经历中就发现，那些处于石头凹陷处或者被周围珊瑚所包围的断枝，很容易状态不佳甚至发生白化，即便是旁边比它高的同类珊瑚能正常生长。

. 和光照相匹配

前文已经提到，经过珊瑚表面水流（流速）的增加，能让珊瑚的光饱和和光抑制点明显提高，针对这个我在自己的水族箱做过一个小实验，我用了两片莫妮卡瓦片珊瑚断枝（来自于同一个母体），剪下来就直接放置于同样高度的高光，但一片位于缸水流很充足的位置，一片我找了一个水流非常弱的地方，几天之后，放置于弱水流位置的断枝出现了明显脱藻白化，中央凹下去的部位（水流更弱）已经挂藻了，而另外一片则非常健康，可见，高光照之下，我们也要提供更强的水流，这样不仅能保持珊瑚健康，可以预期的是，也可以提高珊瑚的生长速率。（因为高光照、高水流带来了更高的光合效率也让珊瑚能更多地获得营养）

. 我们到底要多大的水流

一些研究表明经过珊瑚表面的水流流速在 15cm-20cm 的时候对于珊瑚来说是比较舒适的，但绝大多数水族玩家没有专业的流量计，而且我们的水族箱还是存在多个方向的水流，测定并不容易，但是结合我自己的经验，虽然水流在造浪口释放出的时候速度很快（常常能达到 80-100cm/s），但真正到达珊瑚表面的时候衰减会很严重，而且如果造浪过大，珊瑚息肉无法伸展，很快会发生骨肉脱离的情况（这是我自己养殖 sps 遇到的情况，对于 lps，息肉的伸展很明

显，如果流过大将很容易判断），但流速过缓却需要较长时间珊瑚才会表现出诸如营养缺乏、白化的症状，所以，我自己习惯于把造浪的流量设置到大一些，然后观察珊瑚的状态，毕竟如果水流速太快珊瑚的表现很快就会告诉你。（我现在的 90cm 长，60cm，55cm 高的 sps 缸两个 mp40 采用反联动的模式在开灯时间常常会开到 85% 以上，由于 sps 长得很满，额外还有两个造浪加强缓水区的水流，其实 sps 对水流的需求可能超乎我们的想象，当然，原则是千万不能直吹珊瑚）

总结

总体来看，水流可以通过在珊瑚体表面制造更多的湍流，让边界层变得更薄，从而增加珊瑚和周围水体的物质交换，增加光合作用和呼吸作用效率，有利于珊瑚对营养的吸收，从而增加钙化速率，提高生长速度，水流也会影响珊瑚的形态，这也是珊瑚对周围环境的一种主动的适应，家庭水族箱中的水流设置应该更加倾向于制造大范围的水流移动，保障珊瑚表面水的流速，在高光照之下，应当提高水流的速度。

