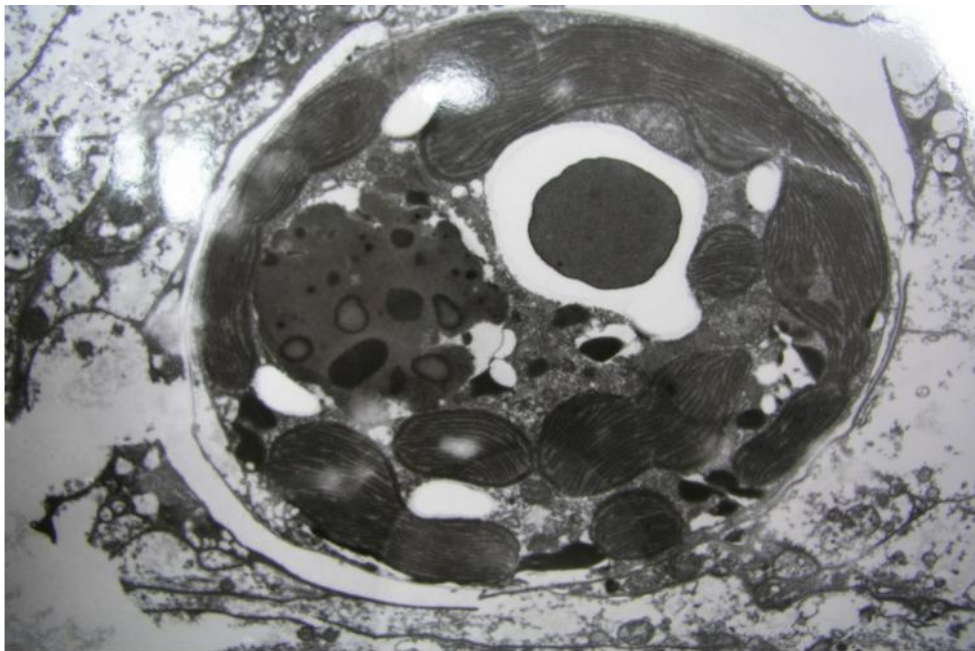


# 珊瑚营养：虫黄藻的介绍、护理和饲养（珊瑚营养系列文章第一部分）

作者：dana riddle (2015) 翻译：四川雅安 benben

前言：本系列文章（珊瑚营养系列共 6 部分）是对 1991 年文章的更新，原文章（第一版）于 1993 年到 1994 年发表于《淡水和海洋水族馆》杂志上。在那个时代，海洋无脊椎动物（珊瑚）是否需要喂食存在着激烈的争论，当时的研究表明珊瑚的共生藻类（虫黄藻）能为它们的宿主（珊瑚）提供绝大多数的能量来源，这在当时被曲解为珊瑚不需要喂食，也导致很多人对水族箱养殖珊瑚喂食的必要性表示怀疑。



共生藻细胞的显微照片

喂养圈养动物激起了我们内心的原始反应（母性吗。。。笑。。），我们在很小的时候就意识到了这一点。我深情地回忆起小时候参观亚特兰大动物园的情景，以及我是如何急切地想买一小包鱼来

喂被关在哪里的海豹，回忆起当时一次次小心瞄准并把一条条鱼投喂给长得像鱼雷一样的海豹并看着它狼吞虎咽地吃掉它的午餐，我总是高兴得尖叫起来。分享食物给我们一种积极的感觉，同时给接受者带来健康，这种感觉有时会伴随我们很多年。情侣约会也可能把请客吃饭当成一种传统（好吧，见面请吃饭）。在过去的一些艰难的日子里（当今仍然在世界一些地方），分享食物与否可能就是生与死的区别。无论如何，对食物的分享让我们的感情加深，让人与人之间的情感可能从关心发展到爱，这种分享将伴随我们的余生。所以，我们总是会小心翼翼地为我们的宠物提供食物（因为爱？），我们可能会为它们吃什么和吃多少而烦恼，当我们出差一段时间时，我们会为我们的鱼儿和珊瑚找一个可靠的饲养者暂时接替我们。

自 20 世纪 60 年代以来，每隔 10 年左右，封闭系统水族馆中的海洋无脊椎动物（珊瑚）的饲养就会取得进展。60 年代中期，全玻璃水族箱和底滤的出现让这一爱好取得了巨大改变。从 20 世纪 70 年代 *straughan*（公司名）和 *siegel*（公司名）的海洋水族馆广告来看，人们当时对蛋白质撇除器、臭氧发生器、水质检测工具等等很感兴趣。*robert p. l. straughan* 在他 1964 年出版的《家中的海洋水族馆》中也有一章是关于人工饲养珊瑚的，但真正在家中成功地饲养珊瑚还尚需时日。20 世纪 80 年代，更先进过滤（微流过滤器）的流行和工业照明产品在家庭的应用，使得“迷你珊瑚礁”在北美成为时尚。许多曾经被认为不可能被圈

养的物种在人工养殖条件下茁壮成长，而且也听到了软珊瑚和石珊瑚在圈养条件下繁殖的报道，虽然这样的报道并不多。

一些珊瑚现在被认为“容易”饲养，包括优雅珊瑚 (catalaphyllia)、皮革珊瑚 (Sarcophyton) 和星形珊瑚 (clavularia)，但有些则不然(包括一些原生物种 (圆帽?))。当然，一些难饲养的物种仍然可以在人工条件下存活几个月，甚至一年左右 (但终究是插花)。一些欧洲人，如 peter wilkens，对这种珊瑚的短暂寿命感到绝望，他们在饲养这类物种时通常会发现在头几周类其健康状况还比较好，但随后就开始缩小并慢慢死亡，其组织会烂掉并出现孔洞。

随着时代的改变，有一些公司研究了珊瑚的营养需求，并提供宣称能满足珊瑚全部营养需求的食物。这些食品的包装宣扬“高蛋白含量”、“生物可利用氨基酸”和“提供 omega-3 和 omega-6 脂肪酸”。这些说法是什么意思？为珊瑚提供这些营养有什么根据吗？

我的这一系列文章 (共 6 部分) 将探讨这些问题。但是给珊瑚提供合适的食物只是一个开始。珊瑚的茁壮成长还和很多因素相关，我们必须把其他因素也纳入考虑的范畴，如适当的照明和水流。温度也是至关重要的，这是大多数珊瑚养殖者都了解的。水化学 (巨量、微量元素方面) 很重要，因为它为珊瑚的整体健康和骨骼结构的构建提供了许多巨量和微量元素。在自然界中，水流传输溶解的和颗粒的食物，光能驱动虫黄藻的光合作用，为

虫黄藻自身和珊瑚宿主提供营养。因此，正确的喂食实际上要建立在珊瑚养殖者对各个参数的良好控制上，整个链条上的一个环节断裂都意味着危险和潜在的灾难。

本系列文章按照从小到大的结构呈现。我们应该从分子水平开始，这将为其他方面奠定基础。只有以这种方式，我们才能希望读者不仅理解(即使只是部分理解)我们的珊瑚需要什么，而且理解我们如何提供这些营养。然后，我们就可以喂养珊瑚，就像喂养我们的宠物一样，让它们茁壮成长，繁衍生息。

## 珊瑚是由什么组成的？

在人们的普遍认知中，珊瑚只是一种原始的腔肠动物，然而事实是它们有着惊人的复杂组成。

珊瑚可以被描述为，在电影《星际迷航》中使用的一个术语，碳基单位。它们是具有多种生物合成途径的有机生物，其中许多在营养供给方面非常重要。

像所有生物一样，珊瑚由碳、氧和氢原子组成。大自然将氮、磷、硫和其他元素融入其中。为了让我们的生物化学课更深入一点，可以这么说，珊瑚是由蛋白质、脂类(包括脂肪、油、蜡)以及碳水化合物和矿物质组成的。参见图 1。

一般来说，蛋白质占珊瑚组织干重的 50%。蛋白质是由氨基酸组成的，氨基酸由碳、氢、氮和少量的硫组成。一些氨基酸是由珊瑚合成的，而另一些则不是，这些被称为“必需”氨基酸(珊瑚自身不能合成的)。必需氨基酸将在本系列文章中进行讨论。

充当能量储备或结构化合物的脂质约占珊瑚组织重量的三分之一(但有时更多)。脂肪由脂肪酸组成,也就是由碳、氢和氧组成。像氨基酸一样,珊瑚可以自己制造一些脂肪酸,而其他的(必需脂肪酸)必须由共生的虫黄藻提供或通过喂食获得。脂肪酸和脂类将是未来文章要讨论的话题。

碳水化合物——如糖和醇,是珊瑚组织的主要部分。这些必须从虫黄藻中获得,或者通过喂食获得(自身无法制造)。

灰分——非挥发性无机化合物,由矿物质、盐类等组成。

我们都知道许多珊瑚(硬珊瑚)能够建造主要由钙、镁、锶和其他金属制成的骨骼。这些物质从水体中被吸收。水流在它们的输送中起着重要的作用。成骨和生长将是本系列文章的一部分。

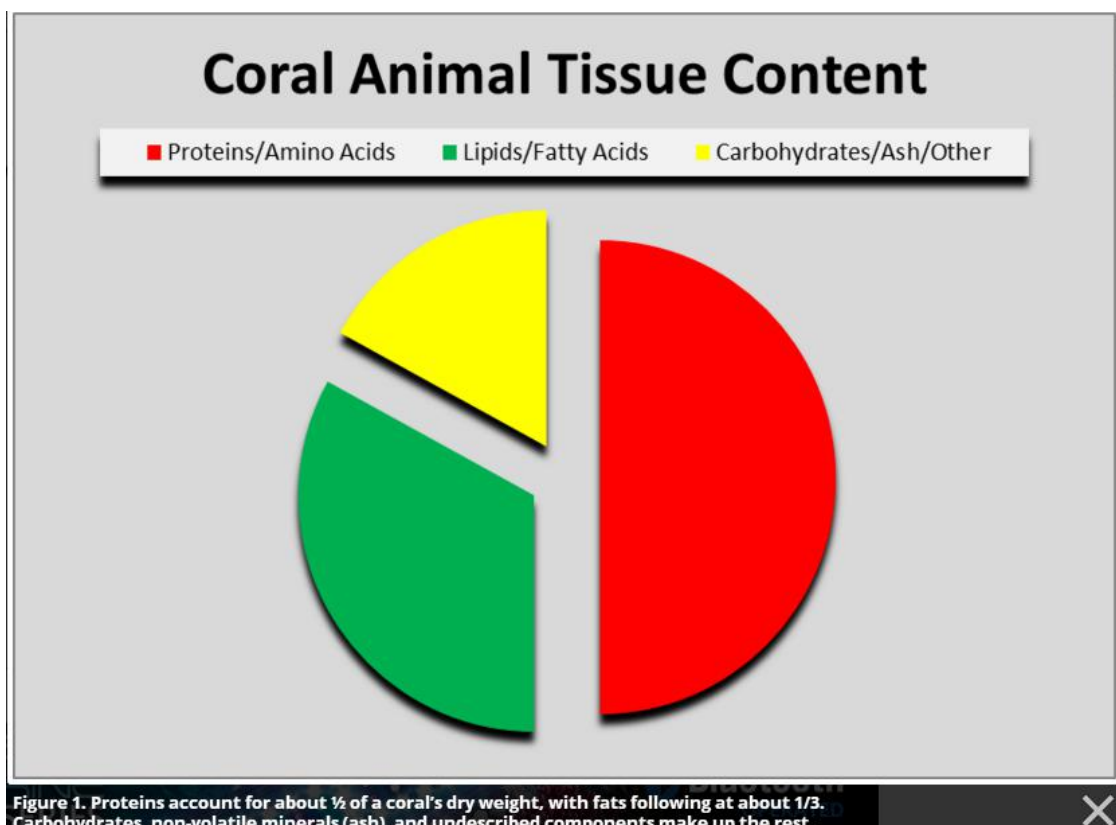


图 1：珊瑚的组成蛋白质约占珊瑚干重的 1/3，脂肪约占 1/3。碳水化合物、非挥发性矿物质(灰分)和未描述的成分构成了其余部分。

当我们考虑共生的虫黄藻和珊瑚之间的关系时，珊瑚营养变成了一个相当模糊的问题。虫黄藻是自养的，也就是说，在条件合适的时候，它们可以生产自身生存所需的所有营养物质。另一方面，珊瑚是异养的，这意味着它必须通过进食来获取营养。共生藻通过一个被称为易位（？）的过程为珊瑚提供一些营养，而这一过程让整个系统更加复杂。图 2 显示了光合作用及其转运产物的重要性。

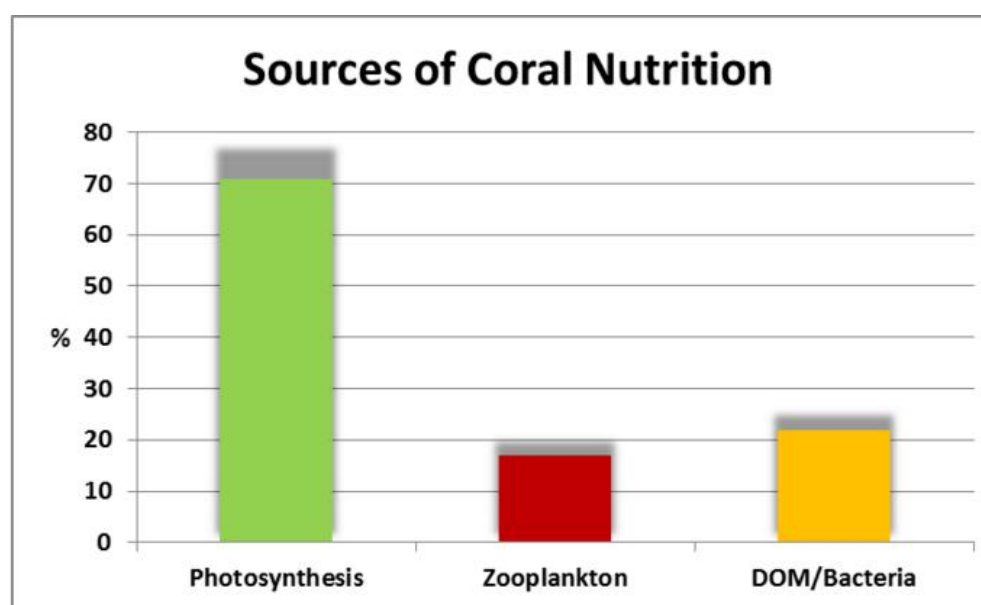


Figure 2. Photosynthesis in zooxanthellae and sharing of the products produced through the photosynthetic process provides important nutrition to the coral animal. From Sorokin, 1981.

图 2 虫黄藻的光合作用和通过光合作用过程产生的产物为珊瑚提供了重要的营养。来自 Sorokin, 1981 年

人们普遍认为，虫黄藻为珊瑚提供了足够的有机碳(糖、碳水化合物等)，这就是许多年前珊瑚饲养者之所以争论人工饲养珊瑚是否需要额外喂食的原因。但有机碳本身并不能像碳水化合物饮食(比如糖水，或者巧克力)那样长期维持生物(包括人)的

生存。

然而，碳水化合物从虫黄藻转移到珊瑚身上并不是一件坏事。碳水化合物可以用来制造脂类和蛋白质。然后问题就变成了珊瑚能产生哪些脂质和蛋白质(不管产生这些物质的来源如何)，它们必须通过进食获得，当然还有这些物质的数量。

话虽这么说，但问题似乎归结为吃什么和吃多少。如果珊瑚不含有共生的虫黄藻，这些问题就变得至关重要。除非努力人工喂养珊瑚(例如不含有共生虫黄藻的‘太阳花珊瑚’——管状珊瑚物种)，或者应当考虑适当的水流来输送食物。如果珊瑚含有虫黄藻，那么它们产生转运物质(某些氨基酸、脂类和碳水化合物)的能力取决于适当的光照(强度和光谱)以及光合作用(还有适当的水流)。

## 珊瑚的共生藻

珊瑚的状态和共生藻息息相关。这些共生藻对环境要求很高，如果它们的需求得不到满足(特别是当光强度变得很低时)，它们可能会死亡，或者可能和珊瑚的关系由共生变为寄生(对珊瑚有害)。因此，作为珊瑚饲养者，我们必须满足他们对适当强度光照、光谱和营养的需求。而且，只有适当的光照和营养还远远不够，水流也起码应该满足最低要求。



图 4 来自夏威夷的石珊瑚组织中的数以百计的共生藻

珊瑚像房屋一样为虫黄藻提供庇护，而它们新陈代谢产生的废物可以为虫黄藻提供能量。反过来，虫黄藻产生并提供(转运)氨基酸、脂类、碳水化合物和维生素。参见图 5 和 6。

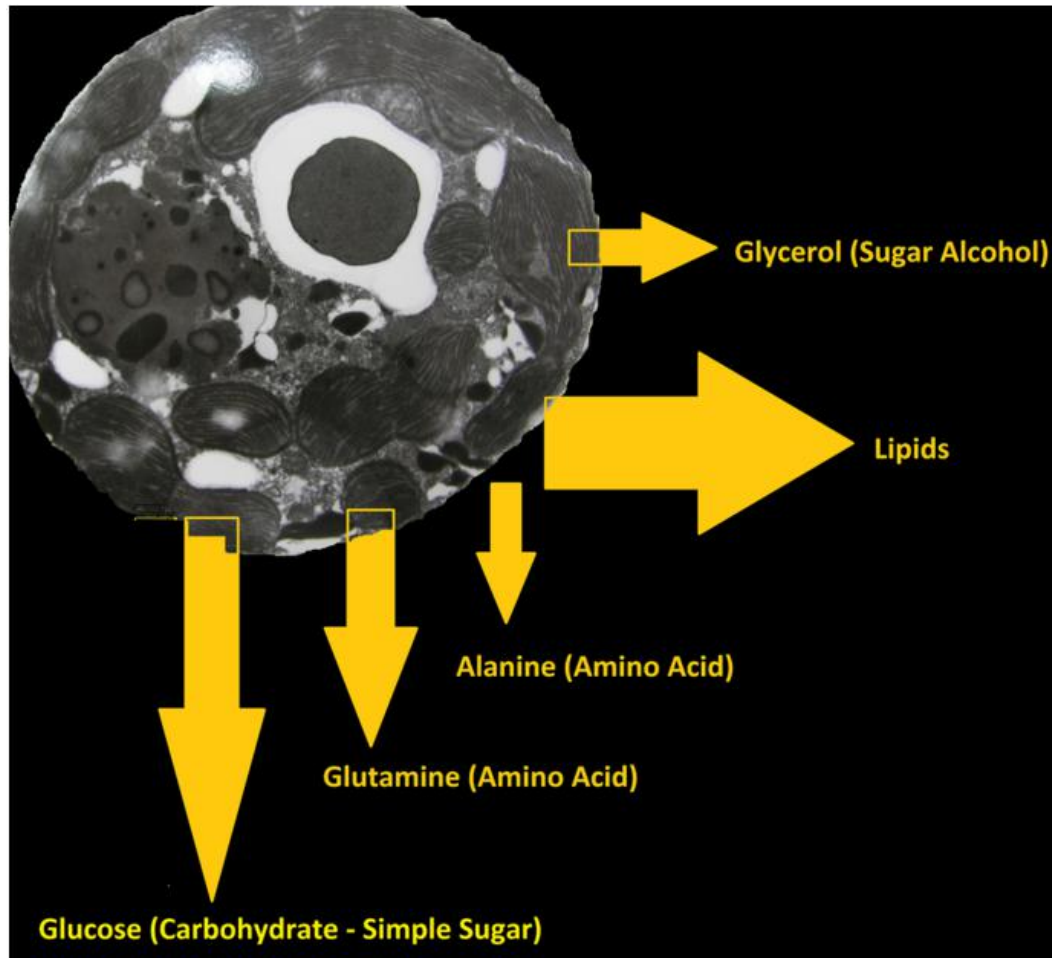


图 5 虫黄藻利用氨和碳酸氢盐等物质中生产许多有机化合物。其中一些化合物是珊瑚所需要的。

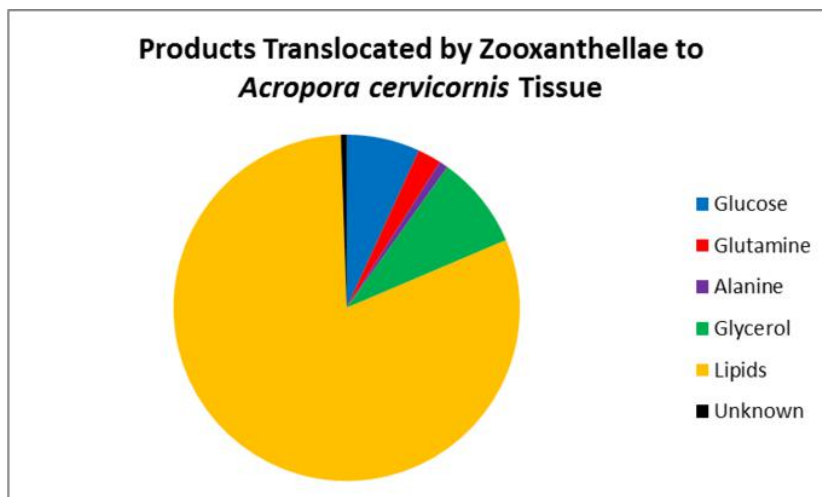


图 6 该图表阐述了图 5 中显示的信息。脂类占虫黄藻和珊瑚共享产品的大部分，其次是甘油和葡萄糖(分别是糖醇和单糖)、氨基酸谷氨酰胺和丙氨酸，最后是未知物质。来自 pearse 和 Musca tine(1971 年)。

## 喂养虫黄藻

为了给宿主无脊椎动物（珊瑚）提供营养，必须对虫黄藻进行适当的照顾。必须提供给它们正确的照明水平。

共生藻和任何植物一样，都需要营养的供给，在这方面它们和陆生的植物并没有什么不同。

看一下任何一袋用于室内植物或草坪的肥料，就会发现其中含有大量的营养物质。这被称为 npk 值，其中 n 代表氮，p 代表磷，k 代表钾。这些是植物生长所需的主要常量营养素。其他常量元素包括钙、镁和硫。虫黄藻需求的微量元素包括铜、铁、锰、钼、锌和镍，可能还需要其他元素（如硼和钴）。请记住，这些常量和微量元素也是宿主（珊瑚）所需要的。

### 营养物质

为了达到这篇文章的目的，我们将把那些对虫黄藻的健康、生长和繁殖起重要作用的营养元素看作氮、钾和磷，碳元素也纳入考虑。

### 碳

在陆生植物中，光合作用的碳源是二氧化碳气体。在海洋水生环境中，二氧化碳通常很少，因此使用另一种无机碳源——碳酸盐（呈碱性形式）。虫黄藻也可以利用珊瑚宿主呼吸的少量二氧化碳。在虫黄藻中发现的光色素含有相对大量的碳。一个例子是 peridinin，一种在虫黄藻中发现的主要辅助色素。

Peridinin: (C<sub>39</sub>H<sub>50</sub>O<sub>7</sub>) (这就是前面提到的那个色素)

除了虫黄藻的生长和繁殖之外，碳还用于蛋白质、碳水化合物和脂类的合成，这些物质可以转移到珊瑚的体内。

## 氮

铵(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)形式的氮是初级生产者(植物、藻类、虫黄藻)无机氮的最重要来源(Swanson and Hoegh-Guldberg, 1998.)在海洋和维护良好的水族馆中的 pH 值下面，铵(与氨-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>区别)是无机氮的普遍形式。(注意区分氨，氨往往是在水质条件恶化，PH 偏离我们饲养珊瑚的理想 PH 的情况下 N 的普遍存在形式，注意区分)，见图 7.

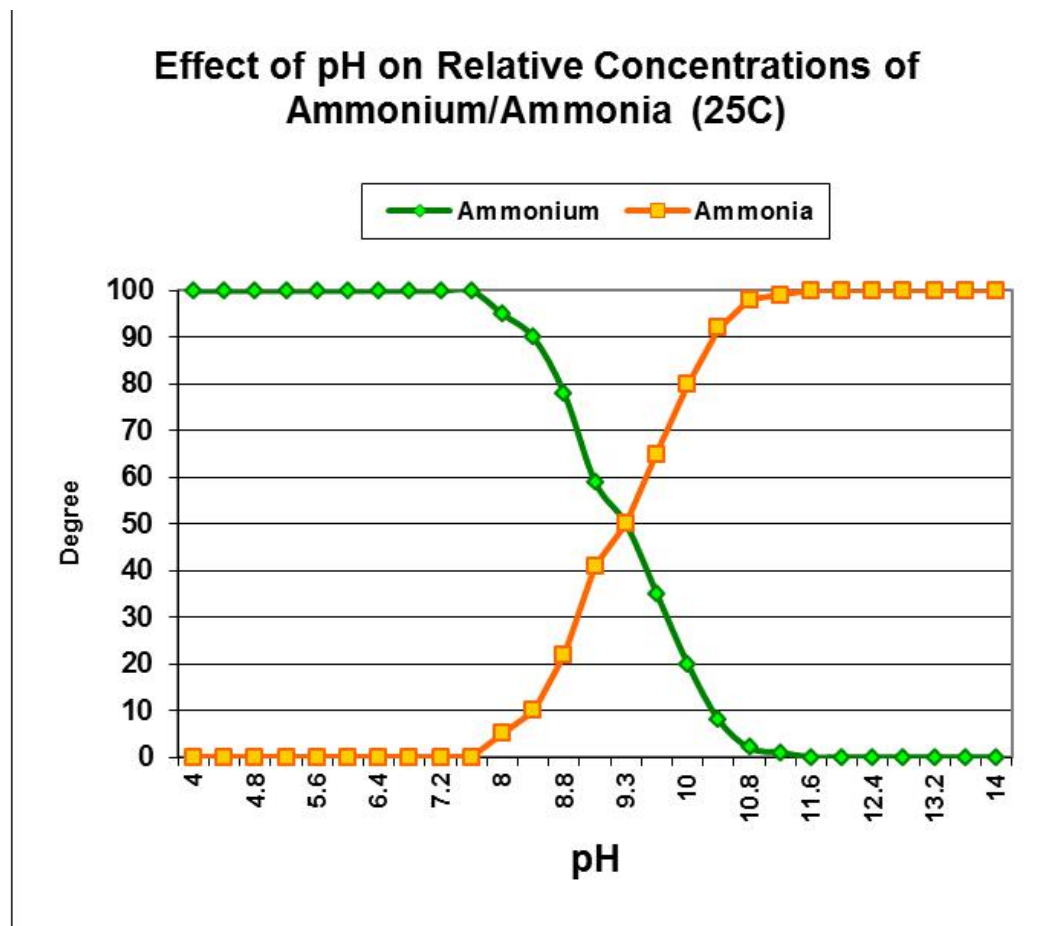


图 7. pH 值对铵/氨相对浓度的影响

一般来说，蛋白质含有 16%的氮(brown, 1931.). 虫黄藻的主要光合色素(叶绿素:  $C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$ ) 的氮含量按重量来算一般在 6%左右。珊瑚荧光蛋白(和非荧光色蛋白)含有大量的氮。见图 8。

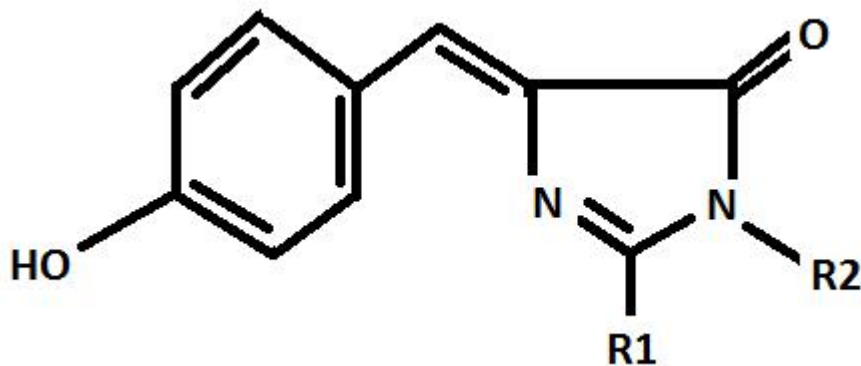


图 8. 绿色荧光蛋白(gfp)的分子链图，它被认为是所有其他珊瑚荧光蛋白的衍生物（这句大意应该是其他珊瑚荧光蛋白由这个衍生而来）。这些蛋白质是由珊瑚本身产生的，而不是虫黄藻。氮是这种荧光蛋白的一种重要的成分。参考自 Chalfie and Kain, 2006., 2006 年。

## 铵的其他来源

珊瑚和海葵经常与其他动物形成共生关系。海葵与海葵虾有共生关系 (*Periclimenes yucatanicus*.)。spotte (1996 年)的研究显示，这些甲壳动物代谢产生的铵导致宿主海葵体内的虫黄藻密度升高。可以推断类似的结果也可能出现在石珊瑚和共生虾、蟹之间(*Alpheus deuteropus*)。

## 磷

磷是水族箱中的一把双刃剑——它对光合作用(和其他生命过程)至关重要,然而过多的磷会助长有害的藻类生长并影响(减缓)钙化过程。

在一些地方的饮用水水源具有腐蚀性的地区(通常由于水硬度低),为了控制从水管中因为水的腐蚀性溶解的铅或铜的量,可能会有意将磷添加到饮用水中。因此,通过使用反渗透或去离子装置预处理这样的水源是一个好主意。

磷在动物食物和排泄物中含量丰富,所以除非采取特别的措施控制磷,否则磷会在水族馆中不断积累。

## 钾

海水中钾的浓度通常约为 400 毫克/升(ppm),很难想象一个维护良好的水族馆会出现缺钾的情况(尽管我还没有看到任何长期的测试结果。)(这段话不太适合现在已经大量采用的沸石碳源系统,沸石碳源系统确实需要定期补充钾)

## 微量营养素

尽管有些微量营养素在海水中的浓度相对较高,但虫黄藻需要少量的微量营养素。(这一段我有点疑惑,这个微量营养素是什么,应该不是微量元素 trace elements)

## 钙

光合作用中的放氧复合物 II 的产生依赖于含钙的辅助因子。水族爱好者只需要知道,在海洋水族箱中 400 毫克/升的钙对这个

反应是合适的。

## 硫

硫(在氨基酸半胱氨酸中)和铁一起,在光合磷酸化作用(adp变成atp)中是非常重要的。海水中的硫浓度约为900毫克/升。

## 镁

叶绿素 c2 ( $C_{35}H_{28}N_4O_5Mg$ ), 虫黄藻中一种重要的辅助色素, 含有约4%的镁(按重量), 叶绿素 a 也含有镁。天然海水中的镁含量约为1300毫克/升。

## 铁

铁和硫(在氨基酸半胱氨酸中)在光合磷酸化作用(adp变成atp)中是非常重要的。

## 铜

铜在维持光合作用过程 II 和光合作用过程 I 之间的电子流动很重要。

## 锰

光合作用过程 II 中的析氧过程需要锰作为辅助因子。

## 硼

陆生植物中硼的缺乏被证明直接干扰叶绿体的功能, 或者间接抑制酶的活性(例如抗氧化酶)。

## 氯(氯化物)

氯有助于调节陆生植物的气孔活动。光合作用过程 II 中的析

氧复合物依赖于含氯化物的辅因子。海洋水族馆永远不应该缺少氯(氯化物)!

## 超氧化物歧化酶和过氧化物酶与金属

超氧化物歧化酶(sod)是一组使超氧化物自由基( $O_2^-$ )呈惰性的特殊蛋白质。这些自由基是在光合作用过程中产生的(这些“自由基”也存在于人体内,这也是我们应该摄入抗氧化剂的原因。)

(人体也需要消除自由基, 😊。。) 这些酶将超氧自由基转化为“常规”氧。虫黄藻中重要的超氧化物歧化酶(SOD)有:

- . 铁 SOD
- . 锰 SOD
- . 铜-锌 SOD
- . 镍 SOD

氧自由基也可以水合形成  $O_2$  和过氧化氢( $H_2O_2$ ), 一种强氧化剂。过氧化氢酶(含铁)作用于过氧化氢来“解毒”。

## 以光为食:光、光合作用和珊瑚营养

光合作用是连接无机和有机世界之间的纽带, 依赖于光能(无论是天然的还是人工的)。此外, 光必须具有适当的强度(临界)和恰当的质量(在大多数情况下, 质量没有强度重要)(这也是为何 PAR 值非常重要的原因之一)。

几年前，普遍的认识是，人造光不能产生足够的光来达到在自然环境中的水平。我们现在知道这是不正确的。虫黄藻有最低和最高照明要求。最低光照要求被称为补偿点。在这一点上，虫黄藻刚好接收到足够的光能来产生氧气和其他物质(蛋白质、碳水化合物)满足其生存的基本要求。换句话说，它们刚好自给自足。如果达不到补偿点，它们和珊瑚的共生关系就会出现问题，在某些情况下，虫黄藻甚至可能会变成寄生虫，伤害珊瑚，在某些情况下，光照不足会导致虫黄藻死亡。幸运的是，大多数虫黄藻的光补偿点很低，通常小于 5000 勒克斯。

当光照强度超过虫黄藻的光补偿点时，它们会产生足够的有益化合物与它们的珊瑚宿主分享。

所以，看起来光照似乎是越多越好。这也是一些业余爱好者争论的焦点（特别是对于一些新手而言）。不幸的是，这些观点仍然在业余爱好者中流传：1. 人工条件下光照强度不可能超过天然珊瑚礁上的光照强度。2: 即便人工条件光照强度大大超过了天然珊瑚礁的光照强度，这对珊瑚和它们的虫黄藻也是有益的（越亮越好。。）。然而事情的真相是：人工条件下的光照强度完全可能超过天然珊瑚礁，而这对珊瑚是有害的（超过一定程度）。

为了解释这一点，我们必须研究当虫黄藻接收太多光线时会发生什么，我可以举一个我们许多人都可以理解的真实例子。

假设你有一种室内植物，在你的客厅里已经很好地存在了一段时间。它已经茁壮成长，我们可以说它是“快乐的”，你把它

移动到一个接收更多光线的地方，没有任何问题——它仍然繁荣。我们已经达到了这样一个点，植物接收到了尽可能多的光，光合作用的速率不会随着光强度的增加而增加。这被称为饱和点。它的最后一个家是在阳光充足的地方，在那里它做得不好，事实上它几周后就死了。发生了什么事？我们的好意杀死了植物，因为我们不知道当光强度超过饱和点时会发生什么。（我个人觉得这个例子很SB，用中国话说，过犹不及就完了，老外写了这么大大一段，真是很难理解他们的思维回路）。

珊瑚(或者更准确地说，它们的虫黄藻)与我们的室内植物样本有相似之处。更多详情参见图9。

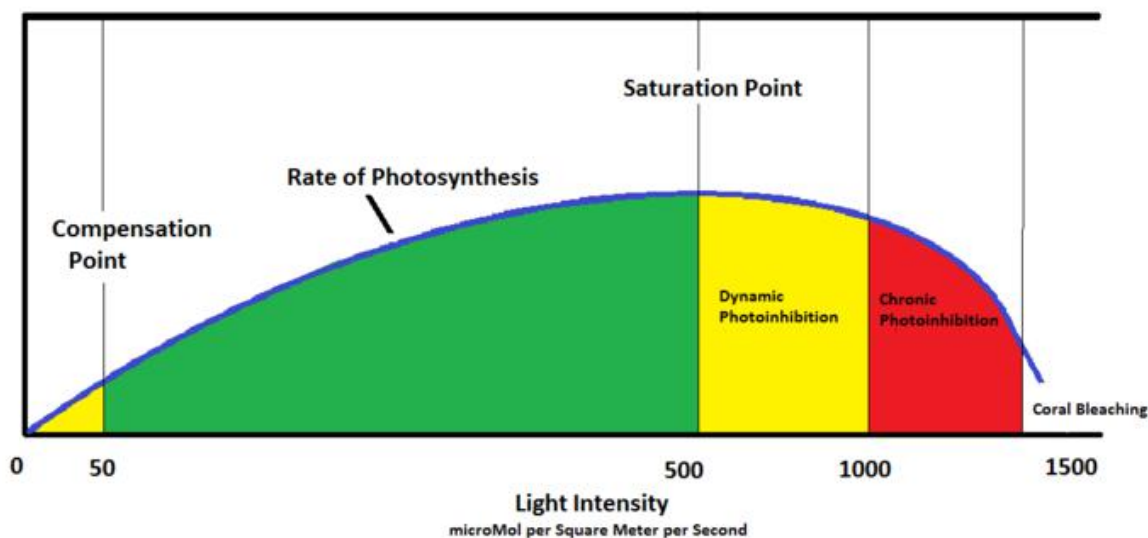


图9 光合过程

蓝线代表虫黄藻的光合作用速率。数字代表光合光子通量密度，单位为每平方米每秒微摩尔，表示为每平方米每秒摩尔数。

(其实就是光照强度)，在光照强度为“0”的时候，光合作用没有发生。随着光照强度的增加，虫黄藻处于警戒状态（这个翻

译应该是说光照强度没有达到补偿点之前虫黄藻处于一种不是很舒服的状态，所以这个状态下还没有珊瑚宿主的份），直到达到补偿点。在补偿点上，他们在氧气、食物等产品上是自给自足的（刚好够自己）。在光线很暗的条件下，虫黄藻有可能变成寄生生物（危害珊瑚）。

光合作用的速率（以及氧气、食物等的产量）。随着光强度成比例地增加，直到获得饱和点（在大约  $500 \text{ mol} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}$ 。）图中绿色区域的上部是光合作用的理想区域。随着光照强度的增加，虫黄藻进入了另一个警戒区（不舒适区）。随着自我保护机制的发挥作用，光合作用的速率开始下降（叶黄素循环中发现的类胡萝卜素开始抑制光合作用，以保护光合作用结构免受太多光的损害），这就是所谓的动态光抑制。这个强度下光对虫黄藻的损伤还比较小或者几乎没有伤害（但光合速率已经不会提升了）。然而，随着光照强度的增加，叶黄素循环被限制，不再提供保护，在红区，光合作用的速率开始下降，因为虫黄藻被过多的光破坏了。这就是所谓的持续性光抑制，如果任其发展下去，会破坏虫黄藻的光合作用能力。在这种情况下，虫黄藻和珊瑚每天都疲于修复损伤，就算没有死亡，也很难有所生长。在极端条件下，虫黄藻会从珊瑚的体内排出，这被称为珊瑚白化。

Host	Compensation	Saturation	Photoinhibition	Depth
<i>Acropora cervicornis</i>	n/a	281	n/a	17m
<i>Acropora cervicornis</i>	n/a	331	n/a	17m
<i>Acropora digitifera</i>	82	387	n/a	1m
<i>Acropora divaricata</i>	10	77	n/a	40m
<i>Acropora formosa</i>	170	340	n/a	1m
<i>Acropora gemmifera</i>	270	340	n/a	1m
<i>Acropora granulosa</i>	53	102	n/a	40m
<i>Acropora microphthalma</i>	n/a	300	n/a	n/a
<i>Acropora millepora</i>	n/a	190	n/a	<2m
<i>Acropora millepora</i>	n/a	230	n/a	<2m
<i>Acropora nobilis</i>	n/a	310	n/a	<2m
<i>Acropora nobilis</i>	n/a	180	n/a	<2m
<i>Anthopleura elegantissima</i>	73	n/a	n/a	n/a
<i>Montipora capitata</i>	n/a	135	250	n/a
<i>Montipora tuberculosa</i>	n/a	180	n/a	<2m
<i>Montipora tuberculosa</i>	n/a	300	n/a	<2m
<i>Pavona varians</i>	n/a	110	350	n/a
<i>Pocillopora damicornis</i>	n/a	225	n/a	<2m
<i>Pocillopora eydouxi</i>	n/a	323	n/a	n/a
<i>Porites cylindrica</i>	n/a	200	n/a	n/a
<i>Porites lobata</i>	n/a	250	350	n/a
<i>Porites lutea</i>	n/a	400	750	1.5m
<i>Sinularia densa</i>	n/a	~207	n/a	n/a
<i>Stylophora pistillata</i>	40	200	n/a	n/a
<i>Stylophora pistillata</i>	n/a	300	600	n/a
<i>Tridacna maxima</i>	n/a	>600	>1,900	n/a

表 1 一些珊瑚的光补偿和抑制点

## 水流

很多关于水流的文章都讨论了它在食物输送、废物和沉积物清除等方面的重要性。我们将简要地讨论一个重要的概念，即珊瑚在获取溶解的大量和微量营养素时对水流的依赖性。

## 动量边界层

动量边界层 (MBL) 是一层围绕所有底栖生物的相对静止的水层。它的厚度与水流速度成反比，也就是说，它的厚度随着水流速度的增加而减小，反之亦然。根据定义，mbI 中的水流速度是周围水体中水流速度的 0-99%。在自然情况下，mbI 的厚度通常为毫米级。（这个动量边界层是一个很重要的概念，虽然听起来有点莫名其妙，但是在珊瑚饲养中非常重要，怎么突破这个边界层，让珊瑚吸收到营养，提升光合作用效率，非常之重要，这一系列的其他文章和一些其他作者的文章都提到了这个边界层）

当生物体从水体中获取物质时，mbI 内可能出现扩散梯度。当物质不能足够快地通过 mbI 进行扩散时，就会出现这个问题。因此，扩散速率取决于物质在水体中的浓度和 mbI 的厚度——高浓度的物质（例如约 1, 300 mg/l 的镁）应该以令人满意的方式扩散通过厚边界层，而低浓度的物质（例如许多微量营养素）需要“良好”的水流，让边界层变得更薄而容易扩散。

研究人员已经确定水流会影响海洋无脊椎动物的呼吸。

这里的呼吸有多重的定义：

- . 细胞呼吸：营养物质在细胞内转化为能量。
- . 维持呼吸：生物体维持自身恒定状态所需的细胞呼吸量。
- . 水生生物从水中获取氧气。

图 10 显示了水流对水生无脊椎动物呼吸的影响。

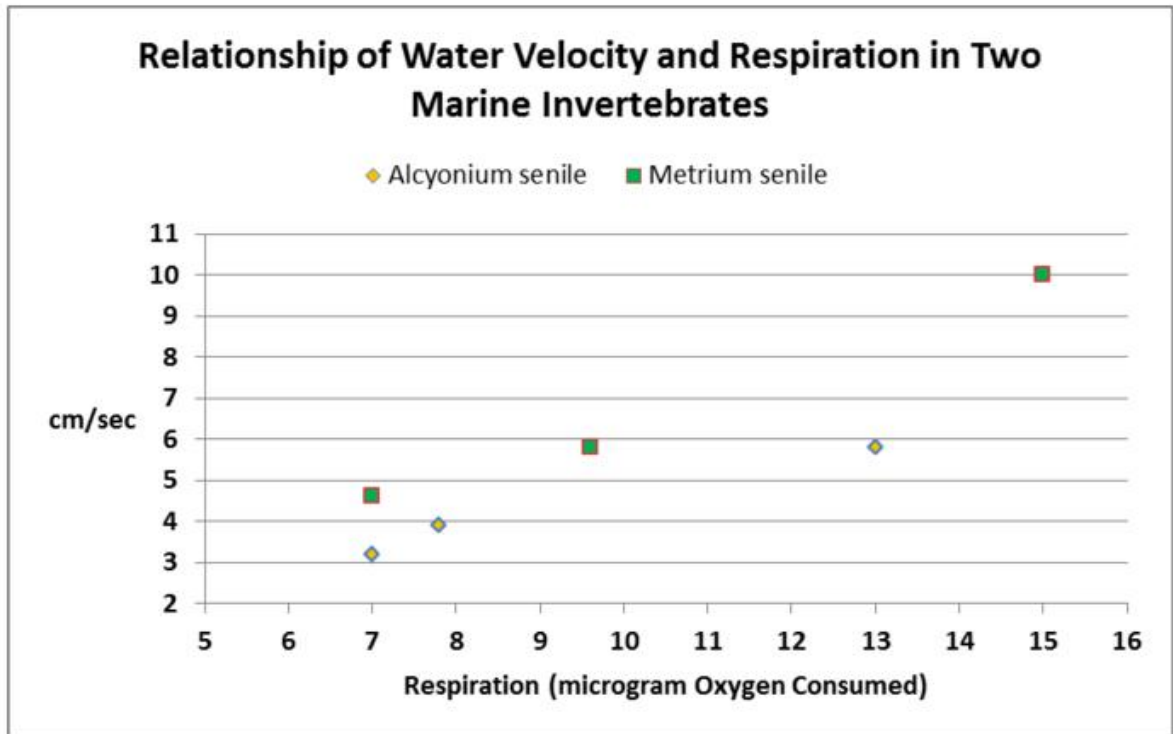


图 10 两种海洋无脊椎动物的呼吸与水流速度成比例增加

## 最后（结论）

珊瑚由蛋白质、脂类、碳水化合物和无机“灰分”组成。珊瑚(宿主)和虫黄藻之间存在共生关系，当条件合适时(光照、水流、营养供给)，重要的营养物质(蛋白质、碳水化合物、脂类)能被珊瑚有效吸收利用。

水流和光照是促进虫黄藻光合作用的关键因素。

下一篇，我们将开始详细研究虫黄藻和无脊椎动物宿主（珊瑚）的氨基酸合成。

参考文献（暂不翻译）

我自己想说的：这篇文章是 6 篇珊瑚营养文章的第一篇，主要起一个开篇的总领作用，可能没有多少关于我们珊瑚养殖的非常实质的内容，但是其中的边界层等重要的概念对于后续我们理解珊瑚养殖的水流、光照等因素的控制具有非常重要的作用，2015 年以前的文章，有些观点随着时代的进步可能已经被纠正（但是现在不是也有渔友说天然珊瑚礁光照强度很强，人工达不到。。。😄），但这篇作为开篇基础，还是有阅读的意义。。。。

译于 2020 年 5 月 四川雅安