

浮游植物的初级生产力 与黑白瓶测氧法

E 驥 (中国科学院水生生物研究所)

我国淡水渔业的主要养殖对象——鲢、鳙均能直接以浮游植物为食，浮游植物的生产量与鱼产量密切相关。

众所周知，用个数或生物量所表示的浮游植物现存量 (Standing crop 或 Standing stock) 仅代表着某一采水时刻单位水体中存在的浮游植物总量，因而在评价水质“肥瘦”或生产性能时，只能作为一种指标加以应用。如欲用能量估算的方法探讨浮游植物与鱼产量之间的内在联系，仅有现存量的资料是不够的，还必须测定浮游植物的生产量。除了在渔业上应用以外，初级生产量的测定亦是水生态系中水体生物生产力研究的重要环节之一，因此，浮游植物初级生产力的研究日益受到重视。根据我们的工作经验，本文扼要地介绍初级生产力的基本概念与规律，重点介绍一种常用的测定方法——黑白瓶测氧法。

一、初级生产力的基本概念与规律

初级生产力 (Primary productivity) 又称原初生产力，指的是自养生物在单位时间、单位空间内合成有机物质的量 (即生产量)。浮游植物的初级生产力，即指浮游植物在单位时间、单位空间内合成有机物质的量。生产量又分为毛生产量 (Gross production) 与净生产量 (Net production)。毛生产量指的是真正光合作用的速率，即在一定时间内合成有机物质的总量；净生产量则指的是从毛生产量中减去藻类

本身呼吸作用所消耗的有机物质之后的生产量。

影响浮游植物的生产量的因素很多，在理化因素方面，主要有光、水温、无机氮、无机磷等；在生物因素方面，主要有水生高等植物的竞争和水生动物的吞食；毒物的污染也是不可忽视的因素。

生产量在时间与空间上表现的规律性与上述诸因素密切相关，例如：

1. 浮游植物生产量的季节分布主要取决于水温。对富营养型水体而言，温度与生产量之间常表现为正相关。即全年只有一个夏季高峰。

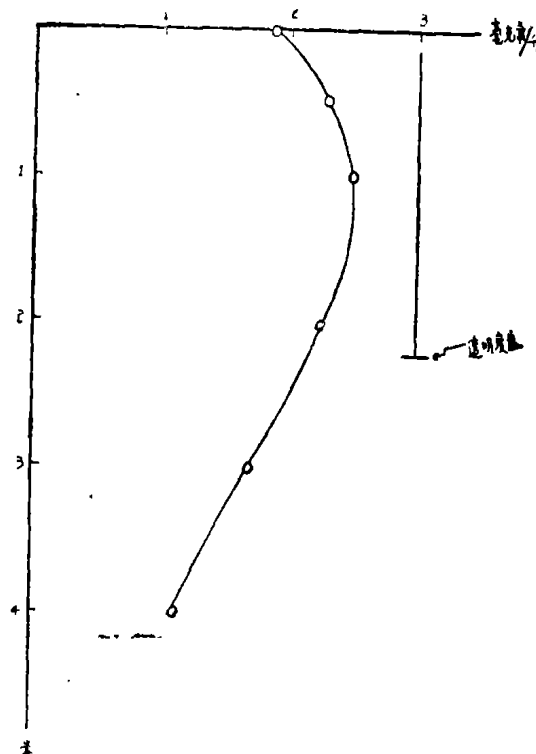


图1 浮游植物生产量的垂直分布

2. 浮游植物生产量的垂直分布主要取决于各水层的光照强度。一般说来, 在晴天, 水表层由于光强过大, 常出现光抑制现象, 最高生产量常出现在水下某一深度, 随后, 生产量将因光强的减弱而减少。其垂直分布曲线见图 1

3. 对同一地区、同一时间的不同水体而言, 浮游植物生产量的高低主要取决于氮、磷等营养盐类含量的丰欠。氮、磷常常是天然水体初级生产力的限制因素。氮与磷相比, 磷常是主要限制因素。

4. 水草与浮游植物之间存在着营养上的竞争, 它们在生产量上常表现为相反的消长关系。

5. 浮游动物大量繁殖时, 浮游动物对浮游植物的吞食, 常成为浮游植物生产量的一个重要限制因素。这种现象, 在每年 3~4 月间表现得尤为突出。

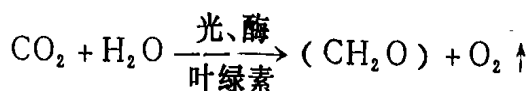
二、黑白瓶测氧法

测定浮游植物初级生产力的方法很多, 目前在海洋与湖沼应用最广泛的是 C^{14} 法和黑白瓶测氧法。

C^{14} 法与黑白瓶测氧法相比较虽有较高的灵敏度, 但由于该法实验条件与设备要求较高, 目前还不能在生产单位普遍应用。对于养殖水体, 由于初级生产力较高, 黑白瓶测氧法的灵敏度已经足够了。

1. 黑白瓶测氧法的基本原理。

一般可用下列通式表示光合作用:



呼吸作用可视为光合作用的一种逆反应。氧的生成量与有机物质的生成量之间或氧的消耗量与有机物质的消耗量之间均存在着一定的当量关系。通过测定水中溶氧量的变化, 间接计算有机物质的生成量或消耗量, 便是黑白瓶测氧法的基本原理。

所谓黑瓶, 指的是用套上黑布袋 (或用涂漆等其他遮光方法) 而完全不透光的玻璃瓶; 所谓白瓶, 指的是完全透明的玻璃瓶。根据上述原理, 黑白瓶测氧法具体说来就是: 当带有浮游植物样品的黑白瓶, 悬挂水中曝光时, 黑瓶中的浮游植物由于得不到光照, 只能进行呼吸作用, 经过一段时间之后, 黑瓶中的溶解氧必将减少; 与此同时, 白瓶中的浮游植物在光的照射下, 光合作用与呼吸作用同时进行, 白瓶中的溶氧量将随着光合作用生成氧与呼吸作用消耗氧的速度的差异而增加或者减少, 天气晴朗, 白瓶中的溶解氧一般会明显增加。假定光照条件与黑暗条件下的呼吸强度相等, 就可根据挂瓶曝光期间黑、白瓶中的溶氧变化计算出光合作用与呼吸作用的强度。

2. 必要器材与试剂的配制

(1) 玻璃瓶: 作黑白瓶用的玻璃瓶, 其容积最好是 150~200 毫升的无色透明的试剂瓶 (瓶底薄而均匀, 磨砂瓶口, 形状如图 2. a)。

(2) 瓶夹: 固定、悬挂黑白瓶用, 形式多样, 可自行设计, 图 2. b 只是其中一种。

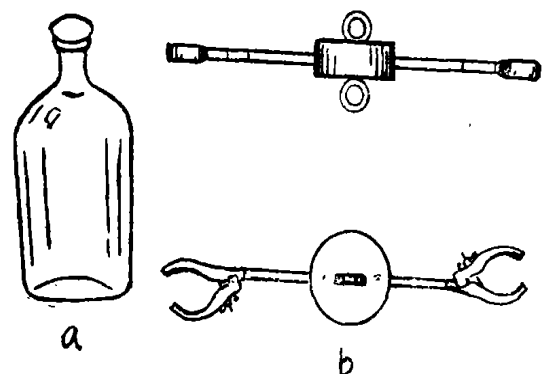


图 2 玻璃瓶与瓶夹

(3) 浮标、沉子、采水器、透明度盘、水温计等。

(4) 溶氧分析的全套器皿与药品, 分析方法与试剂配制见一般水质分析书籍中有关溶氧分析章节。

应当指出,凡是人工投饵施肥的鱼池或引灌城市生活污水的湖塘、常常存在着大量的有机悬浮物或其他还原性物质,因初级生产力较高,白瓶中的溶氧很容易达到过饱和状态。在此情况下,用温克勒法(Winkler method)测氧常会出现滴定终点不易观察和结果不稳定现象。为了适用于含氧量高的水样,并有利于排除大量有机悬浮物或其他还原性物质的干扰,建议改用温克勒法的庞马莱—基士芒—阿斯脱倍氏修正法(Pomeroy-Kirschman-Alsterberg modification of Winkler's method)。此法与温克勒法不同之处仅仅在于用碱性—碘化物—叠氮化物溶液代替碱性碘化钾溶液。

碱性—碘化物—叠氮化物溶液配制方法如下:

溶解400克NaOH于500毫升煮沸并冷却的蒸馏水中,然后,将900克NaI溶解于此溶液中。溶解10克NaN₃于40毫升水中。将后者加入前者,必要时,稀释至一升。因为溶解盐浓度极高,最后容积可能超过一升。所含NaI数量足以测定高至40毫克/升之溶解氧。

3. 工作程序及注意事项

(1) 采水灌瓶

采水层次与挂瓶层次应完全一致。根据各自的要求,每次采水需灌3个或5个玻璃瓶。采水瓶的容积至少要三倍于所灌玻璃瓶的总容积。将采水瓶中的水样用虹吸管分装到玻璃瓶中时,水样灌满后,尚需溢出2~3倍玻璃瓶容积的水,以保证所有玻璃瓶中的溶解与采水瓶中的溶解氧一致。

灌瓶完毕,立即对其中一个玻璃瓶进行氧的固定,这个玻璃瓶中的溶氧量代表着试验开始时的溶氧量,称为初始氧(Initial DO)。其他玻璃瓶作黑、白瓶用,挂瓶曝光结束后方可进行氧的固定。

各层次所用的黑、白瓶以及测定初始氧

用的玻璃瓶应统一编号、做好记录,以免混淆。

(2) 挂瓶

a. 挂瓶层次的选择

由于人力物力的限制,在一个工作点上,不可能挂很多层次,对3~5米深的浅水湖泊,一般挂4~6层就足够了,但挂瓶位置要适当,否则影响测定结果。总的原则是:上层生产力高,挂瓶层次间的间隔要小一些;下层生产力低,挂瓶层次间的间隔可大一些。

前文讲过,浮游植物生产量在垂直空间上的分布主要取决于光照强度,各水层的光照强度与水体的透明度又密切相关。在缺乏水下照度计的情况下,可用透明度作为确定挂瓶位置的依据。

根据我们的经验:晴天,从水表面到1、2、3、4倍透明度深处的毛生产量分别约占整个水柱生产量的40%、72%、89%、98%。换言之,假如透明度为100厘米,0~1米水层中的生产量约占整个水柱生产量的40%,1~2米水层则占32%,2~3米水层占17%,3~4米水层占9%,4米以下的水层仅占2%。可见,两倍透明度以上的水层是主要生产层,挂瓶层次相对密一些。因最大生产层常在0.5倍透明度上下,故在0.5倍透明度附近要挂瓶。除此还要在水表和1、2、3、4倍透明度处挂瓶,4倍透明度以下水层不必挂瓶。但是完全按照透明度倍数挂瓶,计算水柱产量较为困难,因此,只要挂在上述透明度倍数深度的上下就可以了。如透明度为90厘米,挂瓶层次定为0.0米、0.5米、1.0米、2.0米和3.0米即可。

b. 挂瓶方式

挂瓶方式有多种,这里仅介绍其中一种。为防止瓶塞遮光,我们将玻璃瓶倒过来夹在“瓶夹”上。为防止瓶塞倒挂脱落,可用塑料带与橡筋将瓶塞缚住。挂瓶装置见图

3。

(3) 曝光时间

采水挂瓶最好在上午10点钟之前完成，但对浮游生物丰度极大的水体，常因呼吸作用很强，清晨水中溶氧很低，一定要设法对

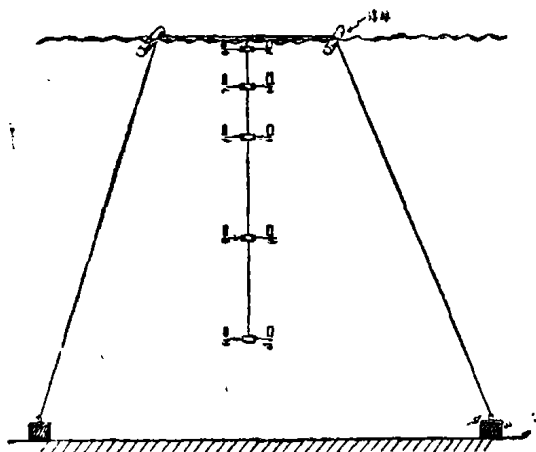


图3 黑白瓶的悬挂方式

采得的水样充氧或待水体中溶氧自然回升到一定程度方可采水灌瓶。否则常因初始氧过低，挂瓶结束时，黑瓶中溶氧早已耗尽，无法计算浮游植物的毛生产量。遇到这种情况，除充氧或推迟采水外，还可用缩短部分黑瓶的挂瓶时间的办法，推算全天呼吸量，进而计算浮游植物的毛生产量。

为便于计算日产量，一般连续挂瓶24小时，但对生产力较高的水体，挂瓶时间太长，常因藻类的状况不正常或营养物质的补给不足，其测定结果会大大低于实际日产量。因此，必须适当缩短曝光时间，如曝光2、3、4、6小时均可。曝光时间缩短后，如何推算日产量，必须根据当地日照特征，通过实验自行确定，如武汉地区，晴天，在10:00~16:00时，任意选择两小时曝光，其生产量约为日产量的20%。

(4) 溶氧的固定与分析

曝光结束，取出黑、白玻璃瓶，立即加入 $MnSO_4$ 与碱性碘化物进行溶氧固定。固定后，放入暗处，带回室内进行溶氧分析。

生产力较高的水体，常因氧的过饱和，

在白瓶中产生大的氧泡，该气泡主要是氧气，不能放掉，可将白瓶略微倾斜，小心打开瓶塞，加入固定液，再盖上瓶塞，充分摇动，气泡中氧气可被固定下来。

每个样品最好用0.01N的 $Na_2S_2O_3$ 溶液滴定两次，两次滴定数不得相差0.05毫升。

除化学方法外，也可用溶氧测定仪测定黑白瓶中的溶氧，但需注意仪器的精确度与灵敏度是否符合要求。

4. 计算与换算

(1) 各挂瓶水层生产量的计算方法

单位：毫克氧/升·日

毛生产量 = 白瓶溶氧量 - 黑瓶溶氧量

呼吸量 = 初始溶氧量 - 黑瓶溶氧量

净生产量 = 白瓶溶氧量 - 初始溶氧量

或 = 毛生产量 - 呼吸量

应当说明，上述呼吸量中，除浮游植物的呼吸耗氧外，还包含着浮游动物与细菌的呼吸耗氧。因而，上述净生产量不能完全看成浮游植物的真正净生产量，其值比真正净生产量为低。

(2) 水柱生产量的计算方法

单位：克氧/米²·日

所谓水柱产量 (Water column production)，指的是一平方米水面下，从水表一直到水底整个柱形水体的生产量。

水柱产量可用计算法、作图求积或称重法求得。这里仅用一个实际例子介绍一种最简单的计算法：

例：假定某水体某日透明度为100厘米，如图4所示，0.0米、0.5米、1.0米、2.0米、3.0米、4.0米处的毛生产量分别为2、4、2、1、0.5、0.0毫克氧/升，求其水柱毛生产量。

水柱产量的计算见下表：

可见，上例水柱毛生产量为5.50克氧/米²·日。

水柱呼吸量与水柱净生产量的计算方法与水柱毛生产量的计算方法完全相同。

(3) 换算

水层	每升平均日产量(毫克氧/升)	体积(升)	每平方米水面下各水层的日产量(克氧/米 ² ·日)
0.0~0.5米	$\frac{2+4}{2}=3$	500	$3 \times 500 = 1500$ 毫克氧 = 1.5克氧
0.5~1.0米	$\frac{4+2}{2}=3$	500	$3 \times 500 = 1500$ 毫克氧 = 1.5克氧
1.0~2.0米	$\frac{2+1}{2}=1.5$	1000	$1.5 \times 1000 = 1500$ 毫克氧 = 1.5克氧
2.0~3.0米	$\frac{1+0.5}{2}=0.75$	1000	$0.75 \times 1000 = 750$ 毫克氧 = 0.75克氧
3.0~4.0米	$\frac{0.5+0}{2}=0.25$	1000	$0.25 \times 1000 = 250$ 毫克氧 = 0.25克氧
0.0~4.0米(水柱产量)			5.50克氧

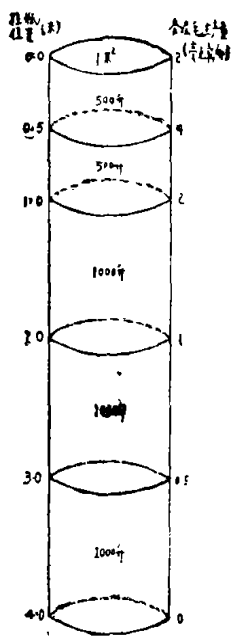


图4 计算一平方米水面水柱产量示意图

从氧单位换算成其他单位时，一般用下列当量：

1毫克氧 = 3.51卡

1毫克氧 = 0.9375毫克葡萄糖

当光合商 PQ = 1时，

1毫克氧 = 0.375毫克C

Ryther 等曾指出，浮游植物的光合商通常变动在1.10~

1.48，并建议将天然种群的光合商定为

1.25。

当 PQ = 1.25时，

1毫克氧 = 0.3毫克C。

将氧单位换算成浮游植物鲜重时，因藻类组成不同，其当量变化很大，难于得出

一个统一的标准，我们采用1毫克氧 = 5.3毫克浮游植物鲜重这个当量，仅供参考。

从浮游植物的生产量估算渔业生产潜力时，还必须知道鲜鱼肉的热当量，一克淡水鲜鱼肉的热当量大约为1200卡。

最后谈一下测定次数问题。测定次数多少，首先取决于研究目的，其次要看人力、物力是否可能。例如，根据初级生产力估算鱼的生产潜力，就得知道全年的总初级生产量，至少也要知道鱼类生长最快的5~10月的各月初级生产量。武昌东湖5~10月初级生产量约占全年的80%。如仅为了比较各水体的生产性能或水质“肥瘦”，选择7~8月晴天测定1~2次即可。

另外，根据水体的大小、形态、周围环境等因素确定测定点(站)的位置与数目。

有了初级生产力的测定结果，如何评价水质，如何估算鱼类生产潜力，如何确定各类鱼的放养比例或放养量等，还需要一些其他参量，可根据需要研究拟定。