

光合作用有效光辐射测试原理--PAR, PPF, PPFD

阳光对植物来说是必不可少的，因为植物需要依赖阳光来进行光合作用，我们都知道阳光是一个连续光谱的光源，植物的光合作用主要是在可见光谱范围内进行的。随着科技的进步，人们逐渐根据自然光的连续光谱特性，生产出相应的标准光源。根据植物的生长特性，人们逐渐生产出可以替代自然光的植物光源来促进植物的光合作用，然而生产出来的职务灯不一定与自然光一致，那么如何来评价植物灯光源的特性呢，流明,勒克斯,尺烛光这些参数对确定光对植物的要求，已成为过时的指标来。最近,人们开始把 PAR,PPF,PPFD 方法测量光合作用的光照明应用，据我使用过的多种照度计，固润的光谱照度计 GL Spectrolux 比较符合用来测量植物光合作用有效辐射参数和光子通量密度，固润的光谱照度计能用来评价植物灯光源的光谱特性。性能良好的植物灯是以决定适当的光线水平促进植物成长快速,繁荣的植物，那么如何来测定植物灯的特性以及如何选择光谱照度计成为关键因素，下面就固润的光谱照度计 Spectrolux 来谈谈植物光合作用有效辐射（PAR,PPF,PPFD）的基本原理。



第一个测量是光合光子流量或“PPF”，它测量由一个光源每秒产生的光的总量。换句话说，PPF 告诉我们一个光源每秒发出的标准是多少。从技术上讲，PPF 测量的是“照明系统每秒发出的光合成的光子”。这个测量是用“微孔每秒”来表示的，尽管如此，PPF 并没有告诉我们测量的光有多少是在植物或其他表面上的。

第二种测量方法是 PPFD 测量到达植物或藻类的光。光合作用光子通量密度或“PPFD”是测量实际到达植物和藻类的光量，或者，科学家可能会说：“在给定的表面上每秒钟发生的光合作用光子的数量。”PPFD 是一个“点”测量你的植物的树冠上的一个特定的位置，它是以每平方米每秒的微孔来测量的。这种测量方法由科学家和光工程师来表示： $\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 。

第三种测量方法是 DLI(日光积分)，它测量每天送至植物的光的总量。种植者可以把 DLI 看作是植物每天的“剂量”，尽管科学家可能会说 DLI 是一个累计的测量，它是在每天的光操作中到达植物和藻类的光子总数。DLI 测量每平方米光子的“摩尔”数，并表示为： $\text{摩尔}/\text{m}^2/\text{d}$ 。DLI 类似于雨水的总量在暴风雨期间,与降雨量的速度(这是 PPFD)。DLI 最重要的指标是决定植物和藻类的整体增长速度。一旦你知道你的植物或藻类的首选 DLI,您可以轻松地设置一个照明系统提供所需的光量。

在可见光中有大量的光子或光粒子——事实上，数量是如此之大，以至于我们无法用正常的数字来表示它，所以我们用了两种常用的测量方法来测量大量的量。第一个数字,这被



广州市固润光电科技有限公司
广州市天河区五山路248号金山大厦502室
Tel: 020-85666701
www.guruntech.com
sales@guruntech.com



称为摩尔,等于一个叫做阿伏伽德罗数,也就是 602214150000000000000000 !对于一个更容易控制的数字,微摩尔是一摩尔的万分之一。

PPF 告诉我们每秒钟有多少光子是由一个光源发出的。PPFD 告诉我们,这个装置在一秒内将光子分布在一个一米的目标(即你的植物和藻类)上。DLI 告诉我们,在一个完整的光周期中,有多少光子被传送到一个一米的目标(即一天)。

每一个鱼缸和照明系统都是不同的,有许多因素影响灯具的总光量。虽然流明很容易测量,但它与给到植物和藻类的光量没有任何的联系。PAR,PPF PPF, DLI 是科学家、藻类研究人员、园艺家和实验室所使用的精确和一致的术语和测量方法。PPF 告诉我们每秒钟有多少光子是由一个照明装置产生的,但是它并没有告诉我们这些光子在哪里着陆。这就是为什么我们需要 PPF 密度或 PPFD 的原因。

定义光合作用的辐射(PAR),这不是一种测量或度量,像英尺,英寸或公斤。PAR 定义了植物生命中支持光合作用所需光的类型。光合光子通量(PPF)测量光源每秒发出的总光(光子)。PPF 告诉我们一个光源发出的标准是多少。以微每秒的量来测量,并表示为:摩尔/秒。光合光子通量密度(PPFD),测量每秒钟到达目标的光(光子)。PPFD 以每平方米每秒 1 米的面积测量,并以摩尔/m²/s 表示。日光积分(DLI)累计测量光(光子)的总光量(光子),在光操作过程中达到目标。DLI 以摩尔/m²/d 为单位,以每平方米的摩尔数来测量。光子是物理学家给光粒子的名字。可利用自然或人造光来促进植物生命的光合作用。



生物的生长速率直接受光照射的影响,波长在 300~400nm 的紫外光与 700~800nm 的近红外线(远红光)会影响生物的生化反应及其外观。特别在 400~700nm 的光线与植物与藻类的光合作用有密切的关系,此频谱的光称为光合作用有效光(Photosynthetically Active Radiation, 简称 PAR)。

而光合作用有效光(PAR)范围内光子的数量较佳的测量基准是测量其光合作用光子通量密度(Photosynthetic Photon Flux Density, 简称 PPFD),此为『于波长 400-700nm 区间,单位时间内落到单位面积上的光子的数量』,其常用单位为 $\mu\text{mol}/(\text{sec m}^2)$ 或 $\mu\text{E}/(\text{sec m}^2)$ 。下图为固润光谱照度计 Spectrolux,可测量来自太阳与其它光源的辐射,测量 340~780nm 范围内波长的能量,测量数值单位为 W/m^2 。其 Sensor 模拟光合有效函数,以确实符合使用上的需求。目前多数国外产品也以此为产品设计方向,以符合专业使用者的需求。

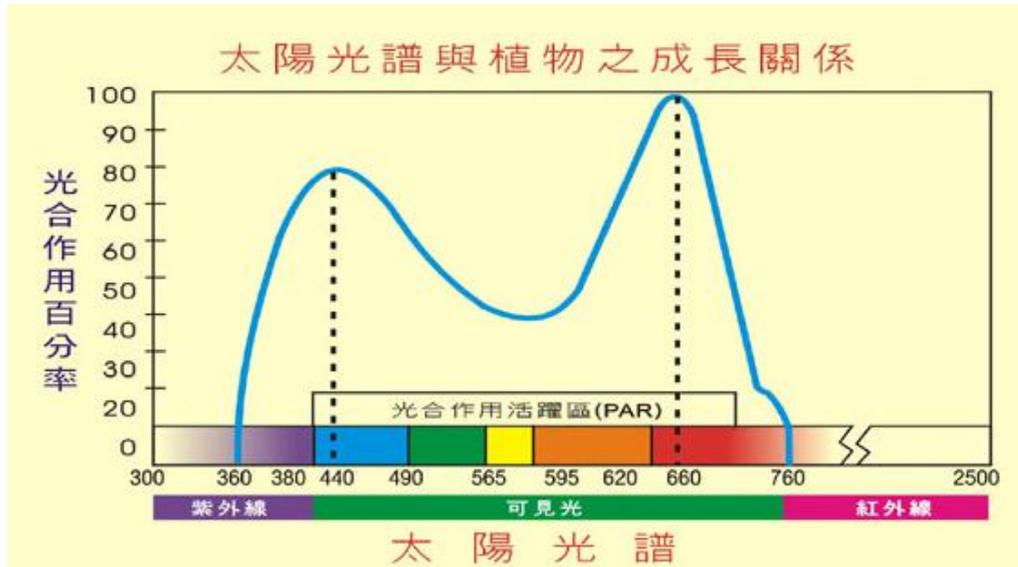
辐射照度测量范围: 0.03 to 600 w/m^2 (可换算为 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ 或 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 或 $\text{Photon}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)

照度测量范围: 1 lx to 200.000 lx

Why 380~700nm?

自然光的波长是 380~700nm,这也是最适合水草生长的波长范围。而波长小于 400nm

的有一段叫做紫外线的光线，对水草也有一定的影响，而且是负面影响。7%的紫外线中又可分为三级不同之波长（均对水草有不同之作用）：C级紫外线（200-280）占3%—对大多数水草都有害；B级紫外线（280-320）占9%—对大多数水草都有害；A级紫外线（320-380）占88%—对水草有益，使叶片加厚具有杀菌作用。推荐使用仪器：人工气候箱，人工气候培养箱。人工气候培养箱是一种能够自行设定温度、湿度和光照度的仪器，也就是能够控制水草所受到的环境因素—光线这一参数，这对于研究植物与光线之间的关系带来了很大的方便。



对水草影响较甚的光线，主要是三大类。紫外线、可见光和红外线。下面我们就来具体分析下这三大类光线。

第1波段的辐射光：是含有大量能量的紫外线，但部份的紫外线都被臭氧层所吸收。所以我们较关心的是与农膜有密切相关的部份：紫外线-b（波长280—320nm）及紫外线-a（波长320—380nm），这二种波段的紫外线有其不同的作用如：对植物的花产生着色的作用。

第2波段的辐射光：是可见光（波长400—700nm），相当于蓝光、绿光、黄光及红光，又称为PAR，即光合作用活跃区。是植物用来进行光合作用的最重要可见光部份。蓝光与红光是在PAR光谱带中最重要部份，因为植物中的核黄素能有效的吸收此一部份的光线，而绿光则不容易被吸收。

第3波段的辐射光：是红外线，又可分为近红外线和远红外线。近红外线（波长780—3,000nm）的光基本上对植物是没有用的，它只会产生热能。远红外线（波长3000—50,000nm），这一部份的辐射线并不是直接从太阳光而来的。它是一种带有热能分子所产生的辐射线，一到晚上就很容易散失掉。



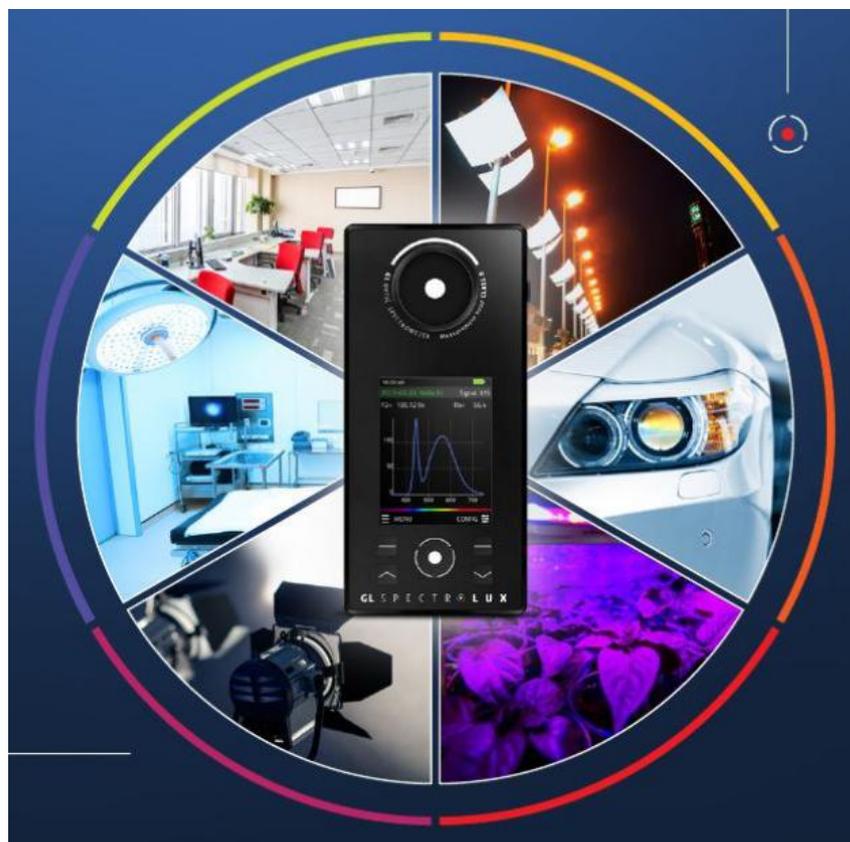
水草对光谱的敏感性与人眼不同。人眼最敏感的光谱为 555nm，介于黄-绿光。对蓝光区与红光区敏感性较差。水草则不然，对于红光光谱最为敏感，对绿光较不敏感，但是敏感性的差异不似人眼如此悬殊。水草对光谱最大的敏感地区为 400~700nm。此区段光谱通常称为光合作用有效能量区域。阳光的能量约有 45%位于此段光谱。因此如果以人工光源以补充光量，光源的光谱分布也应该接近于此范围。

光源射出的光子能量因波长而不同。例如波长 400nm（蓝光）的能量为 700nm（红光）能量的 1.75 倍。但是对于光合作用而言，两者波长的作用结果则是相同。蓝色光谱中多余不能作为光合作用的能量则转变为热量。换言之，水草光合作用速率是由 400~700nm 中植物所能吸收的光子数目决定，而与各光谱所送出的光子数目并不相关。但是一般人的通识都认为光颜色影响了光合作用速率。水草对所有光谱而言，其敏感性有所不同。此原因来自叶片内色素（pigments）的特殊吸收性。其中以叶绿素最为人所知晓。但是叶绿素并非对光合作用唯一有用的色素。其它色素也参与光合作用，因此光合作用效率无法仅有考虑叶绿素的吸收光谱。

光合作用路径的相异也与颜色不相关。光能量由叶片中的叶绿素与胡萝卜素所吸收。能量藉由两种光合系统以固定水分与二氧化碳转变成为葡萄糖与氧气。此过程利用所有可见光的光谱，因此各种颜色的光源对于光合作用的影响几乎没有不同。

有些研究人员认为在橘红光部份有最大的光合作用能力。但是此并不表示植物应该栽培于此种单色光源。对植物的形态发展与叶片颜色而言，植物应该接收各种平衡的光源。

蓝色光源（400~500nm）对植物的分化与气孔的调节十分重要。如果蓝光不足，远红光的比例太多，茎部将过度成长，而容易造成叶片黄化。红光光谱（655~665nm）能量与远红光光谱（725~735nm）能量的比例在 1.0 与 1.2 之间，植物的发育将是正长。但是每种植物对于这些光谱比例的敏感性也不同。



结合固润光谱照度计 Spectrolux 能对光源光合作用有效辐射以及光子通量密度进行测量，

提供相应的解决方案以满足行业应用需求。固润光谱照度计 Spectrolux 能几秒钟内在 LED 显示屏上产生精确的测量结果，进行快速评估。手持便携式的光谱照度计可用于评估照明设施和 LED 灯具的快速控制，甚至支持应用和销售工程师去定量突出现代照明系统。光谱照度计应用于高端实验室、研发和进料质量控制，为照明专业人员提供简单可靠的光谱辐射照度测量仪，为行业应用需求提供相应的解决方案。