

实验室工程师知识点分享：植物生长用LED光照标准进展及体系建议

产品名称	实验室工程师知识点分享：植物生长用LED光照标准进展及体系建议
公司名称	深圳市实测通技术服务有限公司
价格	.00/件
规格参数	测试周期:5-7天 寄样地址:深圳宝安 价格费用:电话详谈
公司地址	深圳市罗湖区翠竹街道翠宁社区太宁路145号二单元705
联系电话	17324413130 17324413130

产品详情

白炽灯、荧光灯、高压钠灯、高压汞灯等传统光源，应用于农业和生物领域，存在低生物光效、高能耗和高运行成本的不足，以人工光植物工厂为例，光源能耗费用约占系统运行成本的40%~60%。相对于传统照明，光源能形成与植物光合作用及其形态建成基本吻合的光谱吸收峰值，具有效率高、耗能小、无汞污染、精准波长、系统智能可控等优点，系统节能达50%以上，在温室补光、植物组培、植物工厂以及遗传育种等众多领域具有广阔的应用前景。

本文梳理了植物生长用LED光照的标准进展，并探讨植物生长用LED照明标准体系框架。国家工程研发及产业联盟（CSA）自2012年起开始植物生长用LED光照标准化工作，2013年发布第1项团体标准T / CSA 021 - 2013《植物生长用LED平板灯性能要求》；之后，推动制定国家标准GB / T32655《植物生长用LED光照术语和定义》、团体标准T / CSA 032 - 2016《植物光照用LED灯具通用技术规范》等。

团体标准T / CSA 021 - 2013《植物生长用LED平板灯性能要求》

植物生长用LED照明产品形式众多，如平板灯、双端灯、柔性灯带等，并将随着技术的发展而逐步变化。在2013年前后，LED平板灯主要应用在组培育苗。该标准规定了植物生长用LED平板灯的术语和定义、分类与命名、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。标准内容上显示出植物生长用LED光源的基本衡量指标，与生活照明用光的参数差异较大。

该标准定义了植物生长用LED平板灯的主辐射波长，是指辐射波长范围为600~700nm的红 - 橙辐射波段和400~500nm的蓝 - 紫辐射波段，以此为基础定义蓝 - 紫辐射照度、红 - 橙辐射照度，进而定义了红蓝辐射照度比；该标准基于物理量定义了总辐射通量（单位：W）、总辐射照度（单位：W / m²），以支撑植物生长LED光照领域的生产、检测、验收等工作。标准定义了光合光子通量密度 [

单位： $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]，指是植物进行光合作用时单位时间内单位面积上接收到的灯发射的一定波长范围内的光子数目，但因为植物进行光合作用接收到的光子数目不好计量，其技术要求并未体现在该标准中。

该标准提出了植物生长用LED平板灯应该符合的GB7000基本安全要求，控制装置符合GB19510.14、GB/T 24825要求，电磁兼容性能要求；在电气特性方面，规定了功率、功率因数要求；在辐射性能方面，规定了初始辐射通量/辐射效率、辐射强度分布、辐射照度和红蓝辐射照度比、辐射照度的均匀性；在辐射光谱特性、寿命特性等方面也作出了要求。

团体标准T/CSA 032 - 2016《植物光照用LED灯具通用技术规范》

该项标准重点关注LED灯具产品通用的技术性能及其评价指标。由于应用于植物光照产业的灯具产品种类繁多，规格型号各有不同，性能质量良莠不齐，亟需建立相对统一的性能指标的判别和评价标准。由于这一产业属于新兴产业，尽早推出相关标准，便于引导产业技术发展及产品定位，但因为有些技术性能的评价不够成熟，有些参数（如光子通量效能、光源的光谱分布与植物光谱的吻合程度分等）的要求有待进一步完善。

该标准根据应用环境的要求，补充了根据植物光合循环模式分类的C3植物、C4植物、CAM植物等术语。按照灯具用途、植物光合作用方式、控制方式对植物光照用LED灯具进行了分类。对植物生长用LED灯具的安全性能、结构外观、电学性能（功率、功率因数）、光学性能、可靠性、电磁兼容性等进行了规范，对灯具的光子通量效能进行了分级，针对技术要求给出了检测方法。

在结构外观要求中，对灯具表面的防腐（达到WF2）、抗紫外线老化等提出了要求；在光学性能要求中，规定了光子通量、光子通量效能[实测值不应低于 $0.7\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{W})$]、光谱分布、配光曲线等参数要求；可靠性部分主要针对光子通量维持率、环境适应性做了要求；在灯具的能效分级中，首先对应高压钠灯[$1.9\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{W})$]和荧光灯[$1.3\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{W})$]的光子通量效能关键点，将LED光源的光子通量效能分为三类：一类[$P \geq 1.9\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{W})$]、二类[$1.3\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{W}) \leq P < 1.9\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{W})$]和三类[$0.7\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{W}) \leq P < 1.3\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{W})$]。其次，按照光源光谱分布的吻合程度将光源按不同纬度可以分成3个类别或3个等级，能效等级的划分同时考虑光源的光子通量效能和光谱分布的吻合程度2个因素，综合上述2个因素，将能效分为3等3类共9级。

国家标准GB/T 32655 - 2016《植物生长用LED光照术语和定义》

该项标准定义的术语内容大体上分2个部分：一部分是有关植物生长方面的内容，主要来自我国生产、教学和科研中正在使用的术语，这部分内容是国内外首次制定；另一部分是有关检测和检测涉及术语的内容，引用IEC 60050和GB/T 24826 - 2016 (IDT IEC62504)标准中的部分术语，以保证标准系统的协调。标准中易混淆的术语解释对比如下：

辐射度量

(电磁)辐射能相关术语

为了描述辐射源的性能，引入了辐射能及相关术语。辐射能定义是以电磁波形式的发射或传播的能量 e (单位：J) (图1)。

上述术语都是为描写辐射源性质而引入的，为了描写辐射能的时间特性就要增加“通量”定义，辐射通量即单位时间内的辐射能量；为了描写辐射通量的方向特性就要增加“强度”定义，强度是点辐射源的、有方向的、单位立体角的辐射通量；辐射出射度即单位面积发出的辐射通量；辐射亮度即单位立体角单位面积的辐射通量。

唯独照度描述的是被照物接收到的辐射，辐射照度即为单位面积接收的辐射通量，对植物光照而言，这是一个很重要的物理量，也称为通量密度，其意义不亚于光照度对人眼的重要性。

光子量

光子量相关的物理量有很多，根据量子力学，光子具有波粒两象性，光子的能量E为

h 为普朗克常数， ν 为电磁波频率。因此只要将上述辐射度量改为光子量，所有关系式都成立。

光子量多用于研究，辐射量多用于工农业生产。相互可以换算，各有有利之处。

光谱量

光谱分布（辐射量、光度量或光子量 X （ λ ）的）/光质/光谱密集度定义为：在波长 λ 处，包含的波长间隔 $d\lambda$ 内的辐射量或光度量或光子量 dX （ λ ）与该波长间隔之商：

单位： $[X]/m$ ，例如 W/m ， lm/m 等。光谱响应函数 dR （ λ ）意义相仿。从植物光合有关的辐射量可以扩展一系列的术语。

光合量

光合有效辐射

光合有效辐射定义为：能为植物光合作用所利用的特定波长的辐射。光合有效辐射是植物辐射度的基础。

光合光子通量

光合光子通量定义为：能为植物光合作用所利用的光子通量 [单位： $\mu mol / (m^2 \cdot s)$]。

在植物生理学范畴中，光子的数量通常用微摩尔（ μmol ）表示，1 μmol 代 6.023×10^{17} 个光子，1mol代表 6.023×10^{23} 个光子。

光合光子通量密度

光合光子通量密度定义为：能为植物光合作用所利用的光子通量密度。

光合速率

光合速率定义为：植物光合作用中，单位时间内单位叶面积上吸收 CO_2 的量或放出 O_2 的量，或者光合产物的干物质积累量，单位有 $\mu mol / (m^2 \cdot s)$ 、 $\mu mol / (m^2 \cdot h)$ 和 $g / (m^2 \cdot h)$ 等。

由于植物光合作用时同时进行呼吸作用，所以光合速率又分总光合速率、表观光合速率（净光合速率）。总光合速率为表观光合速率与呼吸速率的代数和。

量子效率 / 量子产额

量子效率定义为：光合作用中每吸收一个光子所产生的光合产物量（即固定的CO₂或释放出的O₂的分子数）。量子效率因计算方法的不同，可分为表观量子效率和实际的量子效率。

相对量子效率曲线（光合作用的）

相对量子效率曲线（光合作用的）定义为：在各个波长上，单位光子通量密度所产生的植物光合速率与波长的函数关系。其辐射波长范围为400 ~ 700nm。相对量子效率曲线示意图如图2所示。

光合光谱响应曲线（光合作用的）

光合光谱响应曲线（光合作用的）定义为：在各个波长上，单位辐照度所产生的植物（净）光合速率与波长的函数关系。

相对光合光谱响应曲线（光合作用的）

相对光合光谱响应曲线（光合作用的）即归一化后的光合光谱响应曲线，其示意图如图3所示。

光合作用的响应曲线是植物辐射度学的基础，有了它可以建立起植物光照的主要物理量。

上述量子效率曲线和光合响应曲线很重要，是植物光照评价的基础。

度量系统

辐射度量系统

辐射度量系统是与辐射能量有关量的测量系统。该系统以辐射通量单位瓦（W）为计量单位。辐射量、光度量、光子量和光合辐射量——这4种量都有相同的基本符号，为了区别分别加注下脚标e（能量）、v（视觉）、p（光子）、ph（光合），例如： e ， v ， p ， ph 。因为历史原因，该度量系统用于植物光合作用辐射量的测量时，其光合有效辐射的波长范围通常定为320 ~ 780nm。

光度量系统

光度量系统依据给定的光谱光视效率函数，如 $V(\lambda)$ （图4），评价辐射量的测量系统。以流明（lm）为单位，波长范围为380 ~ 780nm。对于植物光合作用辐射量的测量，不宜采用该度量系统。

量子度量系统（光合辐射量的）

量子度量系统依据给定的光合作用的量子效率曲线RQE，评价有关的辐射量的测量系统。该系统以光子通量密度单位 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 为计量单位。

光合度量系统（光合辐射量的）光合度量系统依据给定的光合光谱响应曲线，评价光合作用的有关的辐射量的测量系统。该系统以光子辐射通量单位为计量单位。

光合度量转换因子（CVF）

各种光合度量系统之间可通过光合度量转换因子进行换算。

式中， Q 是辐射源发射的每单位波长间隔内光谱辐射量； $R(\lambda)$ 为对应度量系统的相对光合光谱响应。该公式也适用于同一度量系统不同响应曲线之间的转换。辐射量、光合辐射量（植物）、光合光子量（植物）之间的联系可类比辐射量与光度量（人眼视觉）之间的关系，示意图如图5所示。辐射量和光度量可通过人眼视见函数 $V(\lambda)$ 来进行转化。（相对）光合光谱响应曲线对于光合辐射量来说，相当于光度量的人眼视见函数，通过它可以将辐射量和光合辐射量进行转化。而辐射量与光合光子量则是通过相对量子效率曲线进行转化。

植物生长LED光照领域具有多学科交叉、跨领域应用的特点，在LED光源、光电参数、植物光生理反应、使用环境、测量方法等方面以及定义、术语方面均不同于通用照明，存在混用、借用以至错用现象，模糊不清，影响了LED在设施农业中的应用和推广，本标准对LED照明在植物光照中应用的基本名词术语进行定义和规范，避免了定义混乱、术语不统一的情况，确保植物生长LED光照领域产品的生产、检验、验收、测试的规范与统一，为LED在我国农业中标准化应用及推广奠定基础。

植物生长用LED光照标准体系探讨

植物生长用LED光照应用，如设施种苗、叶菜、果菜等方面，具有跨领域、跨行业的特点，是当前国际的研究热点。在理论方面，主要研究LED光环境对设施作物生长发育的影响机制；在LED光源技术方面，主要研究工作在LED光配方参数优化、光效率提升、智能管控技术等。标准化工作是促进科研成果产业化、支撑产业规范发展的重要手段。标准体系的编制是动态的，需要考虑近期和长远的需求，随着技术发展可以进行适当的调整。图6显示了植物生长用LED光照的标准体系，标准的制定建议结合标准、技术报告等多种形式开展，综合服务与科技成果的转化。

结语

LED光照用于植物生长，如植物工厂、温室补光、组培育苗等已经在全国广泛应用，是随着农业生产模式及半导体产业发展而出现的新技术。植物生长用LED光照技术标准的研制和实施可以促进科技成果的转化应用，发挥基础保障和支撑引领作用，促进产业的健康快速发展。

作者简介：徐圆圆 半导体照明联合创新国家重点实验室