

ICS 29.140.99
K 70

T/CIES

中国照明学会团体标准

T/CIES 025—2020

LED 植物光照产品的光学性能测量方法

Measurement Methods of Photometric Performance for Plant LED lighting
Products

2020-05-15 发布

2020-05-15 实施

中国照明学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义	1
4 测试实验室要求.....	5
5 测试方法	6
附录 A(规范性附录)仪器设备要求.....	10
附录 B(资料性附录)检测报告表格要求.....	12
参 考 文 献	14

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由中国照明学会农业照明专业委员会提出。

本标准由中国照明学会标准化工作委员会归口。

本标准主要起草单位：国家电光源质量监督检验中心（北京）、中科稀土（长春）有限责任公司、杭州小太阳农业科技有限公司、深圳超频三科技股份有限公司、苏州昆士莱照明科技有限公司、昕诺飞（中国）投资有限公司、杭州远方光电信息股份有限公司、中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所。

本标准主要起草人：李锦、张德保、李成宇、周拥军、雷堡乐、黄峰、李倩、辛洪政、林成渊、仝宇欣、张伟。

本标准评审专家：华树明、徐志刚、刘厚诚、吴永强、郭朋鑫、魏彬、赵建宇。

本标准是首次发布。

LED植物光照产品的光学性能测量方法

1 范围

本标准规定了LED植物光照产品的光谱辐射强度、光合光子强度、光合光子通量、光合光子通量密度、光合光子通量密度分布、光合光子效率和通量维持率的测量方法。

本标准适用于植物光照的灯具。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 32655-2016 植物生长用LED光照 术语和定义

GB T 36979-2018 LED产品空间颜色分布测量方法

CIE No 15 色度学（Colorimetry）

CIE S025 LED光源、LED灯具和LED模组的测试方法（Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules）

ASABE S640 植物电磁辐射的度量（Quantities and Units of Electromagnetic Radiation for Plants（Photosynthetic Organisms））

IES LM-80-08 关于LED光源维持光通量的验证方法（Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources）

IES LM-79-08 关于SSL产品的电气和光度测量的认定方法（Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products）

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光谱辐射通量 Spectral radiant flux

一定的波段内单位波长的辐射通量，即以辐射的形式发射、传播或接收的功率。

[ASABE S640, 定义3.20, 4.6.2]

[GB/T 36979-2018, 定义3.1]

3.2

光谱辐射强度 Spectral radiant intensity

在一定的波段内单位波长，在给定的光源方向上，离开光源单位立体角的光辐照通量。即离开辐射源的、在包含给定方向的立体角元 $d\Omega$ 内传播的辐射通量 $d\Phi_e$ 除以该立体角元。

$$I_e(\lambda) = \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\Omega}$$

[ASABE S640, 定义3.21, 4.6.3]

[GB/T 36979-2018, 定义3.2]

注：单位为瓦每球面度 ($\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$)。

3.3

光谱功率分布 Spectral Power Distribution ; SPD

在一定波段内的光辐射的能量数值或图像显示分布。

[ASABE S640, 定义3.19, 4.6.4]

3.4

光谱量子分布 Spectral Quantum Distribution ; SQD

特定波段的光辐射的光量子数值分布或图形显示分布。

[ASABE S640, 定义3.22]

3.5

光子强度 photon intensity

离开辐射源的在包含给定方向的立体角元 $d\Omega$ 内传播的光子通量 $d\Phi_P$ 除以该立体角元。

$$I_P = \frac{d\Phi_P}{d\Omega}$$

注：单位为每秒球面度 ($\text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$)。

3.6

光合有效辐射 photosynthetically active radiation; PAR

能为植物光合作用所利用的特定波长的辐射。一般定义为400nm到700nm。

[GB/T 32655-2016, 定义2.1.34]

[ASABE S640, 定义3.14]

3.7

光合光子强度 Photosynthetic photon intensity

从辐射源的PAR（光合作用有效辐射）波段的光子强度。

[ASABE S640, 定义5.1.3]

3.8

光子通量 Photo flux ; PF

在时间元 dt 内发射、传播或接收的光子数目。

$$\Phi_P = \frac{dN_P}{dt}$$

[GB/T 32655-2016, 定义2.1.12]

[ASABE S640, 定义3.8]

注1：单位为：每秒 (s^{-1})。

注2：光谱分布为 $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ 或 $\frac{d\Phi_e(\nu)}{d\nu}$ 的辐射束，其光子通量为：

$$\Phi_P = \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{hc_0} d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e(\nu)}{d\nu} \cdot \frac{1}{h\nu} d\nu$$

h, 普朗克常数= (6.626 075 5 ± 0.000 004 0) × 10⁻³⁴J · s

c₀, 真空中的光速=299 792 458 m · s⁻¹

3.9

总光子通量 Total Photo Flux

从辐射源发光光谱波段内的光子通量。

3.10

光合光子通量 Photosynthetic Photo Flux ; PPF

从辐射源的PAR（光合作用有效辐射）波段的光子通量，也就是能为植物光合作用所利用的光子通量。

[GB/T 32655-2016, 定义2.1.35]

[ASABE S640, 定义3.12, 5.1.1]

注：单位为微摩尔每秒（μmol · s⁻¹）。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代表6.023 × 10¹⁷个光子，1mol 代表6.023 × 10²³个光子。

3.11

远红外光子通量 Far red Photo Flux ; PPF_{Fr}

从辐射源的远红外波段（700nm-800nm）的光子通量。

[ASABE S640, 定义5.3.1]

3.12

紫外光子通量 UV Photo Flux ; PPF_{UV}

从辐射源的紫外波段的光子通量。UVA: 315nm-400nm, UVB: 280nm-315nm, UVC: 100nm-280nm。

[ASABE S640, 定义5.2.1]

3.13

光子通量密度 photo flux density; PFD

垂直光源发射法线的单位面积的光子通量。

[ASABE S640, 定义3.9]

3.14

光合光子通量密度 Photosynthetic Photo Flux Density ; PPFD

能为植物光合作用所利用的光子通量密度。

PPFD 可以测量为或计算为从400nm到700nm波段的光子通量密度的无权重叠加或积分。

[GB/T 32655, 定义2.1.36]

[ASABE S640, 定义3.13, 5.1.2]

注：单位为微摩尔每秒平方米（μmol · s⁻¹ · m⁻²）。

3.15

远红外光子通量密度 Far-red Photo Flux Density, PFD_{Fr}

在远红外700nm-800nm范围内的光子通量密度。

[ASABE S640, 定义5.3.2]

3.16

紫外光子通量密度 UV Photo Flux Density, PFD_{uv}

在紫外光范围内的光子通量密度, UVA: 315nm-400nm, UVB: 280nm-315nm, UVC: 100nm-280nm。

[ASABE S640, 定义5.2.2]

3.17

光斑 light spot/beam

光源或灯具发射光在垂直发射法线的平面照射面上(光强为最大光强的50%)的范围。

3.18

光合光子通量密度分布 Photosynthetic Photo Flux Density distribution

光源或灯具发射光斑上的光合光子通量密度的空间分布。

3.19

光合光子效率 Photosynthetic Photo Efficacy ; PPE

光合作用光子通量除以输入电功率。

[ASABE S640, 定义5.1.4]

注: 其单位是微摩尔/秒/瓦 ($\mu\text{mol} \times \text{s}^{-1} \times \text{W}^{-1}$), 或微摩尔/焦耳 ($\mu\text{mol} \times \text{J}^{-1}$)。

3.20

光子通量维持率 Photon flux maintenance PFM

在灯具或光源点亮后规定的时间的光子通量和初始光通量的比值。

3.21

光合光子通量维持率 Photosynthetic photon flux maintenance; PFM_p

在灯具或光源点亮后规定的时间的光合光子通量和初始光合光子通量的比值。

3.22

远红外光子通量维持率 Far red photon flux maintenance; PFM_{Fr}

在灯具或光源点亮后规定的时间的远红外光子通量和初始远红外光子通量的比值。

3.23

紫外光子通量维持率 UV photon flux maintenance; PFM_{uv}

在灯具或光源点亮后规定的时间的紫外光子通量和初始紫外光子通量的比值。

4 测试实验室要求

4.1 实验室和环境要求

4.1.1 测试室

测量应在环境（如烟、尘、水汽和振动）对被测量的影响可忽略不计的房间内进行。周边布置应保证杂散光最小，如果杂散光较大，相关的误差应被校正。

4.1.2 环境温度和湿度

对于 LED 植物光照产品的测量，设定的环境温度值 t_{amb} 应为 $25.0 \pm 1^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 65\%$ 的环境下进行。

4.1.3 空气流动

测量应在静态的空气中进行，设定值：空气流动速率为 0 m/s ，允差区间： $0 \text{ m/s} - 0.25 \text{ m/s}$ 。

4.1.4 工作姿态

DUT（待测设备-Device Under Test）在稳定和测试周期中均应保持在其设计的工作条件下。

若不能符合本要求，则应将测量校正至设计工作姿态下。

4.2 电学测试条件

4.2.1 测试电压和测试电流

设定值为 DUT 的额定供电电压，或者 DUT 的额定供电电流（直流电流输入的 LED 模块），在 DUT 的供电端实施测量。

交流电压允差区间为 RMS（均方根） $\pm 0.4\%$ ，直流电压允差区间为 $\pm 0.2\%$ 。对于直流电流输入的 LED 模块，直流电流允差区间为 $\pm 0.2\%$ 。

测试电压的测量应在 DUT 的供电输入端而非供电电源的输出端，以避免由于导线和连接器引起的电压降造成误差。

如果额定供电电压是一个范围，测试电压应根据合适的 IEC LED 性能标准（见条款 2）或者区域规范来选择。

注：IEC 的 LED 性能标准一般是关于与市电连接或者在恒定电压下工作的终端 LED 装置。对于某些 LED 模块，则需控制电流。

4.2.2 电学测量

使用合适的测量设备测量交流/直流电压、电流和功率。

交流伏特表和安培表的校准不确定度应小于等于 0.2% 。直流伏特表和安培表的校准不确定度应小于等于 0.1% 。

应当使用合适的功率计或者功率分析仪测量交流功率。功率计应有合适的带宽以覆盖电流中的谐波成分。

交流功率计或者功率分析仪的校准不确定度应小于等于 0.5% 。带宽至少为 100 kHz 。当声称不具有显著高频组份（ 5 kHz 或者 30 kHz ）时，允许采用较低带宽（分别为 5 kHz 或者 30 kHz ）。

注：LED 产品中可能存在或者不存在显著高频组份（>5kHz），取决于辅助机构（控制器，调光器等）的使用。对于能够产生显著高频组份的 LED 控制器，带宽为 100kHz 可能也未必足够，功率分析仪的类型应适应这种特殊情况（如：1MHz 带宽）。

所有供电电流的导线和连接头都应安全固定并且有足够低的阻抗。测试电路应符合相关的 IEC 灯标准。应采用 4 线测量方法。对于 LED 灯具，连接端为电压测量的参考点。

测量功率消耗非常小的 LED 装置时，应当保证电压表或功率计的阻抗足够大以避免由电流泄漏产生的误差。

电压测量电路的内部阻抗应至少为 $1M\Omega$ 。

注：某些 DUT 具有高阻抗，因此必要时需引入具有更高内部阻抗的测量设备。

直流功率的测量可以通过采用合适的设备直接获得或者从测得的电压和电流中得到。

4.2.3 供电电源

关于供电电源的指导请参见 CIE S 025/E:2015。

4.3 测量前的稳定

测量应当在 DUT 达到于稳定状态后开始。测试设备也应达到稳定状态。

在稳定期间，至少每间隔 1min 测量光输出和电功率。

DUT 应点亮至少 30min，当在至少 15min 内其光输出和电功率的最大读数和最小读数间的差异小于最小读数的 0.5% 时，认为其已经达到稳定。如果 DUT 经过预点燃，则无需点燃 30min，并当其读数在最后 15min 内符合上述要求时则认为其已稳定。

5 测试方法

5.1 光谱辐射功率测量

本标准涉及的光谱辐射功率分为单点值和全空间总值两种。对于设备的要求参见第 6 章内容。

DUT 在单点处的光谱辐射功率用光谱辐射计或类似功能设备直接测量。单点位置的光谱辐射功率与该位置对 DUT 的相对位置和测量方向有关。

DUT 在全空间内辐射的光谱辐射功率总值用积分球-光谱辐射计系统或测角-光谱辐射计系统测量。总光谱辐射功率为全空间积分结果。测量方法参见 LM-79-08。

5.2 光子通量（PF）的测量

本标准包括以下光子通量的测量：

——总光子通量 PF，波长范围为 360nm-800nm

——光合光子通量 PPF，波长范围为 400nm-700nm

——远红的光子通量 PF_{fr}，波长范围为 700nm-800nm

——紫外的光子通量 PF_{UV}，UVA: 315nm-400nm，UVB: 280nm-315nm，UVC: 100nm-280nm。一般测试波长范围为 360nm-400nm。

5.2.1 总光子通量 PF 的测量

关于总光子通量测量的一般原则可参见 LM-79-08。测量波长范围设置为 360nm-800nm；

光源的光子通量可由不同的方法获得。方法的选择取决于其它参量（颜色、强度分布）测量的需要，或者取决于 DUT 的几何尺寸。以下方法可适用：

——方法 A：使用积分球（配备光量子传感器或者光谱辐射计）测量。

关于积分球的理论，可参见 LM-79-08。

——方法 B：从光子强度分布中计算得出。

计算方法可参见 CIE 84-1989，第 4 章。光子强度可通过亮度积分得到。参见 CIE 70-1987，第 2.2 章。

——方法 C：从光子通量密度分布以及光度距离中计算得出。

计算方法可参见 CIE 84-1989，条款 5。

在积分球内安装 DUT 有两种位置：

—— 4π 法：适用于所有类型的 LED 装置，特别是非定向分布的装置，DUT 通常以规定的方位安装在积分球中心。如果可能的话，DUT 的安装应使落在挡板上的直射光最少。线性光源应使其光轴与探头和积分球中心的连线共轴。使用放置在同一位置处的光子通量标准灯校准积分球。

—— 2π 法：对于具有半球或定向分布且向后无发射光的 LED 光源，可将 DUT 以指定工作方案安装在积分球球壁。应使用一块小挡板阻挡光源直射探测器。这种情况下，应使用具有半球光分布的光子通量标准灯放置在与 DUT 相同的位置校准积分球。

注 1：积分球 4π 法和 2π 法的例子可参见 LM-79-08。

除非 DUT 与光子通量标准灯的尺寸和反射特性都相近，且宣称结合使用的标准灯和被测 DUT 的类型，自吸收校正可忽略，否则应采用辅助灯法获得自吸收校正系数（CIE 84-1989），对于积分球-光谱辐射计，应逐个光谱用辅助灯测量并校正自吸收。

注 2：如果测量多个相同类型的 DUT，则可针对特定标准灯采用同样的自吸收系数。

应当评估 DUT 与光子通量标准参考灯在空间光子强度分布上的差异，如果差异明显的话，应校正相关误差。

5.2.2 光合光子通量 PPF 的测量

光合光子通量 PPT 的测量方法请参照 5.2.1。测量波长范围设置为 400nm-700nm。

5.2.3 远红的光子通量 PF_{fr} 的测量

远红的光子通量 PF_{fr} 的测量方法请参照 5.2.1。测量波长范围设置为 700nm-800nm。

5.2.4 紫外的光子通量 PF_{UV} 的测量

紫外的光子通量 PF_{UV} 的测量方法请参照 5.2.1。测量波长范围设置为 360nm-400nm。

5.3 光子通量密度测定

首先认为垂直光源法线平面内各点的 PFD 值是以这个平面的几何中心点对称分布的。

5.3.1 光合光子通量密度（PPFD）的测定

植物生长灯垂直光源法线平面的几何中心测量点设定：

A. 此中心点所测得的最高峰值波长 50nm 带宽内的 PFD 值为 $50 \pm 1\%$ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 时，即为植物生长灯垂直光源法线平面的中心测量点。

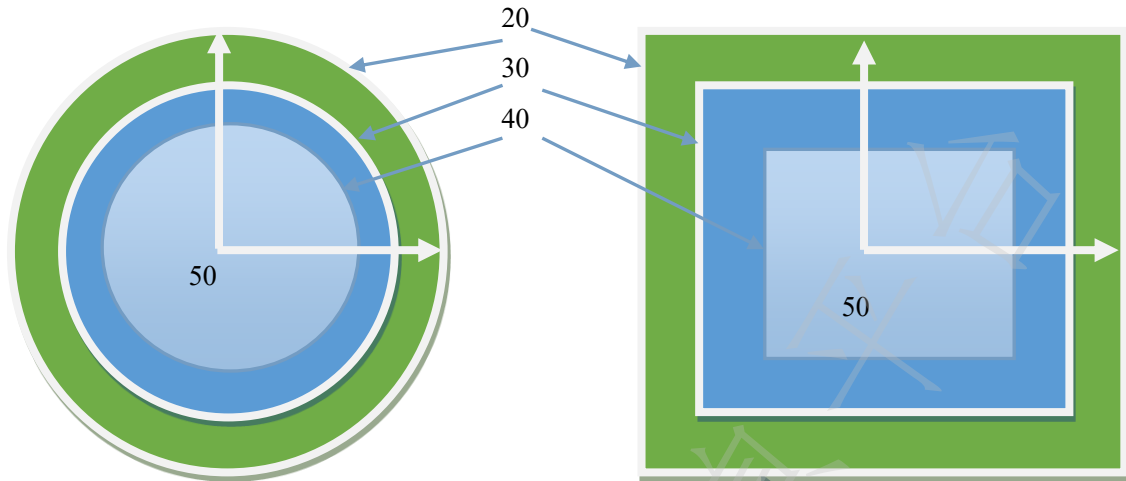


图 1 PFD 等效分布测试示意图

按照图 1 箭头指方向，测量中心波长 50nm 带宽内的 PFD 值为 40，30，20 的点，通过这两个等值点给出这个植物生长灯垂直光源法线平面内 PFD 等效分布图（类似圆形等效分布图，选择两个等值点最远的测试点为半径划元）。

B. 设定中心测量点的中心波长 50nm 带宽内的 PFD 值为 $60 \pm 1\%$ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 的测试点。

按照图 1 箭头指方向，测量中心波长 50nm 带宽内的 PFD 值为 50，40，30 的点，通过这两个等值点给出这个植物生长灯垂直光源法线平面内 PFD 等效分布图以及这个平面到光源的距离。

注：PFD 值为 50，40，30，20 的点，是箭头所指方向上最小 PFD 测试点值。

等效 PFD 分布图应包括以下信息：

A. 给出等效 PFD 分布图包含每个以上测量得到的等值 PFD 的边长或者半径（最远测试点）。

B. 等效平面到光源的垂直距离。

C. 给出以上中心测试点的 PFD 值，以及对应的红光峰值波长 50nm 带宽内的 PFD 值，蓝光峰值波长 50nm 带宽内的 PFD 值，近红外辐射波段的 PFD 值。

D. 对于包含紫外光的 LED 植物生长灯，还应给出中心点的 315 nm ~ 400 nm 和 280 nm ~ 315 nm 的 PFD 值。

5.3.2 紫外光光子通量密度（PPFD_{uv}）的测定

植物生长灯垂直光源法线平面中心测量点设定：

此中心点所测得的 315 nm ~ 400 nm 的 PFD 值为 $30 \pm 1\%$ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 时，即为植物生长灯垂直光源法线平面中心测量点。

按照以上示意图箭头指方向，315 nm ~ 400 nm 的 PFD 值为 20，10 的点，通过两个等值点给出这个植物生长灯垂直光源法线平面内 PFD 等效分布图以及这个平面到光源的距离。

选定测试点出 PFD 值为 $40 \pm 1\%$ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 时，重复以上测试，箭头方向的测试点 PFD 值为 30,20,10.

等效 PFD 分布图应包括以下信息：

A. 给出等效 PFD 分布图包含每个以上测量得到的等值 PFD 的边长或者半径（最远测试点）。

B. 等效平面到光源的垂直距离。

C. 给出以上两个中心测试点的 PFD 值, 315 nm ~ 400 nm 的 PFD 值, 280 nm ~ 315 nm 的 PFD 值。

5.4 光合光子通量密度分布的测定

光合光子通量密度分布采用一定高度的平面的上的光斑测试方法, 测试高度和布点方式由制造商给出, 其中给出的高度应是等间隔高度, 同一高度每个光斑应给出不少于 16 个点。

制造商应给出至少 3 个不同高度平面的相应数据, 测量仪器采用光量子探测器或光合光量子通量密度计。

5.5 光合光子效率 (PPE) 的测定

测试 PPF 和输入总功率 P, 计算 $PPE=PPF/P$ 。

5.6 通量维持率测定

包括光合光子通量维持率, 红外光子通量维持率, 紫外光子通量维持率。

测量初始通量, 并在规定的试验时间再次测量通量值。将初始通量归一化为 100%, 并作为决定产品寿命的第一个数据点。在规定的试验时间所测试的光子通量表示为维持率 (用初始值的百分数表示)。

试验时间, 由制造商根据产品特性确定, 亦可由使用者指定, 但最长不超过产品的宣称寿命。

附录 A (规范性附录) 仪器设备要求

A.1 积分球的要求

积分球内壁的涂层应当具备漫反射、高反射、无光谱选择性且没有荧光性，涂层的反射率宜大于 90%。

积分球的尺寸应足够大以避免由于挡板以及被测 LED 植物光照产品本身导致的积分球响应分布不均匀而产生的较大误差，具体要求为：当被测 LED 植物光照产品安装在积分球中心时（ 4π 法），被测 LED 植物光照产品的总表面积不应超过积分球内壁总面积 2%，线性 LED 植物光照产品的最长物理尺寸应小于球体直径的 $2/3$ ，且其长轴应与探测器的探头到积分球中心连线共轴，以使挡板的尺寸可以最小；当被测 LED 植物光照产品安装在积分球开口时（ 2π 法），开口直径不应超过积分球直径的 $1/3$ 。

积分球内的光照产品固定装置以及辅助设备的尺寸应尽可能的小。所有积分球内的挡板联通受试设备的支撑结构都应尽可能的涂油高反率的涂层。

积分球系统应有足够的机械重复性，要求在开启和关闭积分球后的重复性用在 $\pm 0.5\%$ 以内，且应纳入总不确定度计算中。

积分球系统（包括测量设备）在两次校准器件的响应度应具有足够高的稳定性，除非积分球系统在每次使用前都校准过，否则积分球系统应在合适的时间间隔重新校准，以保证在校准间隔时间内，积分球系统的响应度漂移量低于 0.5%。

应采用与被测 LED 植物光照产品有相似光子强度分布的标准灯校准积分球系统。标准灯与被测 LED 植物光照产品的光子强度分布差异应纳入不确定度计算中。

积分球应配备有辅助灯以实施自吸收测量校正，辅助灯应可发射覆盖整个可见光波长范围的辐射。辅助灯也应该有挡板，使其直射光线不会直接照射到探测器口或被测样品上。

A.2 分布光谱辐射计的要求

分布光谱辐射计的旋转工作台的一般要求详见 GB/T 9468，扫描角度范围应能覆盖被测 LED 植物光照产品发射光的角度，角度精度应在 $\pm 0.5^\circ$ 以内，角度显示分辨率应为 0.1° 或更高。

由于机械装置（如支撑被测 LED 植物光照产品的灯臂）遮挡被测 LED 植物光照产品发射光的角度区域（称为死角）不应超过 0.1sr （约 10° 半径的锥角），否则应予以校正。

对于光合光子强度分布的测量，分布光谱辐射计系统的测试距离应覆盖 DUT 的实际应用距离；光谱辐射强度和光合光子强度的测量要求足够的测试距离，为不同波长下，辐射强度测量距离的最大值，对于常见的 LED 植物光照产品，其光谱辐射强度和光合光子强度的测试距离可参照如下：

DUT 的所有 C 平面配光形状近似余弦分布： $\geq 5 \times D$ ；

DUT 的某些 C 平面的光分布角度范围比余弦分布宽： $\geq 10 \times D$ ；

DUT 的光分布角度范围较窄，光强分布形状陡峭： $\geq 15 \times D$ ；

DUT 的发光面之间存在较多不发光区域： $\geq 15 \times (D+S)$ 。

其中，D 为 DUT 的最大发光尺寸，S 为两个临近的发光面之间的最大距离。

在测量过程中应保持 DUT 的热平衡，LED 产品的工作姿态变化以及位置的变化都会影响热平衡。

如果被测 LED 植物光照产品在测量中的安装方位不同于标准工作方位，或者热平衡受到了影响，则应对测量结果进行校正，并纳入不确定度评估。

分布光谱辐射计也可用于光合光子通量密度分布的测量，与传统的空间角度扫描不同，测量光合光子通量密度分布时光谱辐射计应在距被测 LED 产品一定距离下，作相对平面扫描测量，参考 IES LM-70。

A.3 光谱辐射计要求

积分球-光谱辐射计和分布光谱辐射计中的光谱辐射计应满足以下要求：

波长范围应至少覆盖 400nm~700nm，如需测量远红和紫外光谱，则应分别覆盖 700nm~800 nm 和紫外 360~400 nm。

波长最大准许误差为 $\pm 0.5\text{nm}$ ；

带宽（半峰全宽）以及扫描间隔应不大于 5nm；

光谱辐射计应对每个波长的光辐射都有线性响应，非线性的影响应纳入不确定度考量中；

光谱辐射计内部的杂散光应纳入不确定度考量中。

注 1：积分球-光谱辐射计中的光谱辐射计入光口需经余弦校正，其 f_2 值应 $\leq 15\%$ ；在 DUT 视场内，分布光谱辐射计中所用光谱辐射计的余弦角响应率 $f_2(\epsilon, \phi) < 2\%$ 。

注 2：积分球-光谱辐射计系统应使用溯源至国际单位（SI）的总光谱辐射通量标准灯进行定标。如果没有总光谱辐射通量标准灯，用户可以从溯源至 SI 的光谱辐照度标准灯和总光通量标准灯推导得到，此时在测试报告中注明推导的方法以及相关数据（如标准灯的空间光谱均匀性或相关色温等）。

注 3：分布光谱辐射计系统应采用溯源至 SI 的光谱辐照度标准灯或光谱辐射强度标准灯进行定标。对于反射镜型的分布光谱辐射计，测量光路经过反射镜时，则计入反射镜的光谱反射率，或者使用溯源至 SI 的总光谱辐射通量标准灯来校准分布光谱辐射计系统，注意分布光谱辐射计的死角不对总光谱辐射通量标准灯的测量产生影响。

附录 B
(资料性附录)
检测报告表格要求

检测报告应给出相关信息，以方便使用者获取、使用。主要包括试验条件信息、试验结果等，检测报告表格参见表 B.1~B.5。

表 B.1 试验条件信息表

样品信息			
环境温度 (°C)		环境相对湿度 (%)	
试验设备			
备注:			

试验结果:

表 B.2 相关电参数表

电源频率 (Hz)	输入电压 (V)	输入电流 (A)	输入功率 (W)	功率因数
备注:				

表 B.3 光谱能量分布数据表

波长 (nm)	功率 ()

注: 波长范围根据实际测试设置，需覆盖 400-700nm；波长间隔根据实际设置，但不得大于 5nm。

表 B.4 PPF/PPE 参数表

PPF ()	
PPE ()	
PFB ()	
PFR ()	
PFX ()	

注: 脚标 B 代表波长范围: (-)；脚标 R 代表波长范围 (-)；脚标 X 代表波长范围: (-)。

表 B.5 PPFD 数据表

安装高度 H:				
测试点布置示意图 (以距离高度比— —D/H 量化表述)				
各点数据				
位置码				
PPFD				
位置码				

注：本表根据实际设置填写；不同安装高度分别给出

参 考 文 献

- [1] CQC 1328—2019 植物生长灯安全和性能技术规范