JJF

**中华人民共和国国家计量技术规范**

**JJF××××-××××**

人工光源光合有效辐射计校准规范

Calibration Specification for Photosynthetically Active Radiation Meters for Artificial Light Source

**征求意见稿**

**（2022.10.24 第1次修改）**

**××××­××­××发布××××­××­××实施**

国家市场监督管理总局**发布**

人工光源光合有效辐射计

**JJF ××××-××××**

校准规范

Calibration Specification for

Photosynthetically Active Radiation Meters for Artificial LightSource

归 口 单 位： 全国光学计量技术委员会

主要起草单位： 中国计量科学研究院

参加起草单位： 陕西省计量科学研究院

杭州远方光电信息股份有限公司

杭州市质量技术监督检测院

本规范委托全国光学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

刘 慧（中国计量科学研究院）

赵伟强（中国计量科学研究院）

闫劲云（中国计量科学研究院）

参加起草人：

张晓颖 （陕西省计量科学研究院）

李 倩 （杭州远方光电信息股份有限公司）

汪哲弘 （杭州市质量技术监督检测院）

朱腾飞 （杭州市质量技术监督检测院）

目 录

[引言 II](#_Toc119516138)

[1 范围 1](#_Toc119516139)

[2 引用文件 1](#_Toc119516140)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc119516141)

[4 概述 2](#_Toc119516142)

[**5** 计量特性 2](#_Toc119516143)

[**6** 校准条件 3](#_Toc119516144)

[6.1 环境条件 3](#_Toc119516145)

[6.2 测量标准及校准设备 3](#_Toc119516146)

[**7** 校准项目和校准方法 4](#_Toc119516147)

[7.1 校准项目 4](#_Toc119516148)

[7.2校准方法 5](#_Toc119516149)

[8 校准结果 9](#_Toc119516150)

[9 复校时间间隔 9](#_Toc119516151)

[附录A 11](#_Toc119516152)

[附录B 12](#_Toc119516153)

[附录C 14](#_Toc119516154)

引言

1. JJF 1001-2011 《通用计量术语》、JJF 1032-2005《光学辐射计量名词术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》和JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。
2. 本规范为首次发布。

人工光源光合有效辐射计

1 范围

本校准规范适用于积分式光合有效辐射计和光谱型光合有效辐射计的光合光子通量密度和光子探测器响应度的校准，其他植物照明用光子探测器如RGB探测器、R探测器、G探测器、B探测器的校准也可参照本规范执行。

2 引用文件

本校准规范引用下列文件：

JJG 213-2003分布（颜色）温度标准灯检定规程

JJG 245-2005 光照度计检定规程

GBT 32655-2016植物生长用LED 照明术语和定义

凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 光合有效辐射 photosynthetically active radiation, PAR

能使植物产生光合作用的光学辐射。

3.2 光合光子探测器 photosynthetically quantum sensor

用于测量光合有效辐射的光电探测器，通常由硅光电二极管、光学滤色片和余弦修正器构成。理想光子探测器在(400～700) nm 波段的相对光谱光子响应度为1。

3.3 光合光子通量photosynthetic photon flux, PPF

按照植物的光合响应函数进行加权的光子通量。通常用光子探测器或用光谱辐射计依照光合响应函数对光谱辐射通量加权进行测量。

单位为：个每秒(μmol·s-1)。

注1：当数字比较大时可以利用1 mol = 6.022 140 76×1023进行简化，以μmol·s-1作为单位。

[来源：GB/T 32655—2016 植物生长用LED光照术语和定义，有修改]

3.4光合光子通量密度photosynthetic photon flux density, PPFD

表面上一点处的光合光子通量密度是入射在包含该点的面元上的光合光子通量与该面元面积之商。

单位为：个每秒平方米(s-1·m-2)或简化表述为μmol·s-1·m-2。

3.5光合有效波段photosynthetically bandwidth

能使植物产生光合作用的特定波段范围。

RGB 波段(400～700) nm 即光合有效波段。

R 波段(600~700) nm 即红色波段。

G 波段(500~600) nm 即绿色波段。

B 波段(400~500) nm 即蓝色波段。

3.6光合光子通量密度标准灯standard lamp for photosynthetic photon flux density

在光合有效的指定波段，标定了距离灯丝参考平面一系列距离处的光合光子通量密度的溴钨灯或其他在(400～700) nm内光谱连续的稳定光源。

4 概述

光合有效辐射计是用来测量植物照明光源的光合光子通量密度的计量器具，根据工作原理的不同，分为积分型和光谱型。积分型的光合有效辐射计由光子探测器（包括余弦修正器、光谱修正滤光器）和显示器两部分组成；光谱型的光合有效辐射计由光谱辐射计和光纤（包括余弦修正器）组成。当光子探测器或光谱仪的通过光纤（以下二者统称探测器）接收到光辐射时，所产生的光电信号，经信号处理，在显示器上或光谱辐射计的测试界面显示相应的光合光子通量密度。

**5** 计量特性

5.1示值误差

人工光源光合有效辐射计的示值误差应优于10%。

5.2响应度

人工光源光合有效辐射计的响应度的范围为1.81×1018 s-1~1.81×1019s-1(3μmol·s-1~30μmol·s-1)。

5.3余弦特性指标

积分型光合有效辐射计的余弦特性（方向性响应）指数应优于6%。

5.4 长波段响应指数

长波段响应指数应优于10%。

5.5短波段响应指数

短波段响应指数应优于10%。

5.6 光谱失配指数

光谱失配指数应优于8%。

注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。

**6** 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1环境温度：(23±5)℃，相对湿度：≤80％；

6.1.2环境应清洁，无腐蚀性气体，无影响仪器正常工作的粉尘、震动或电磁场干扰，并严格屏蔽杂散光。

6.2 测量标准及校准设备

6.2.1 标准灯

校准人工光源光合有效辐射计的光合光子通量密度标准灯组由不少于3只的高强度溴钨灯组成。至少在3个距离标定光合光子通量密度，每个距离之间的应大于10 cm，光合光子通量密度的最大值不小于1.81×1020 s-1m-2 (300 μmol·s-1·m-2)。

6.2.1.1 外观要求

按规定条件老化后溴钨灯正对灯丝工作面的玻壳无明显反碱、发雾、发黄、气泡、条纹、斑点、擦伤等缺陷；灯丝与电极、挂钩、支撑的连接牢固，且灯丝不应有明显弯曲、驰垂；灯头与玻壳的固定牢固、无明显的歪头、偏心及影响正常使用的其他缺陷。

6.2.1.2 标识

灯上应清晰、牢固地标明灯号和工作面。

6.2.1.3 角度特性

标准灯应具有良好的水平及垂直角度特性，灯泡相对测量方向分别沿水平及垂直方向旋转±1.5°时，光合光子通量密度变化不超过0.6%。

6.2.1.4 稳定性

在规定电流下点燃4 h 灯端电压变化小于0.15%。光合光子辐射通量密度的年变化率不超过1.0%。

6.2.1.5 参考面

标准灯应明确规定参考面的起点位置；默认为灯丝的中心。

6.2.2校准装置

6.2.2.1光度测量装置

光度测量装置由光学导轨、滑车、五自由度支架、灯丝平面调节仪、光阑等组成。光学导轨的长度大于3 m，平直性误差应不超过±1 mm，测距米尺1 m内总误差不大于0.2 mm。

6.2.2.2供电电源及电测仪表

标准灯采用直流供电，供电和电测电路如图1所示，其中电压必须从灯端测量（四线法连接）。



图1供电与电测电路图

电源：采用直流稳流/稳压电源供电，电压电流连续可调(0～150) V/(0～20) A，10 min 内输出电压变化应不大于0.02%。

电测仪表：数字多用表和标准电阻应不低于0.02级。

**7** 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

7.1.1光合光子通量密度（PPFD）示值误差

7.1.2光子探测器的响应度

7.1.3余弦响应指数

7.1.4长波段响应指数

7.1.5短波段响应指数

7.1.6光谱失配指数

注：非型式评价时可仅校准示值误差或光子探测器的响应度。

7.2校准方法

7.2.1校准前检查

外观：探测器的余弦修正器外表面应清洁无损，显示器的数字显示应清晰，没有断笔划等现象。

标识：被测仪器上应清晰牢固地标明：名称、型号、产品编号、生产厂等。

7.2.2量值校准

7.2.2.1准备工作

按图1连接标准灯及电测设备和供电电源。按照图2配置校准光路。将光合有效辐射计的探测器和标准灯安装在位于光度测量装置的滑车所附的五自由度支架上，并在探头和标准灯之间放置光阑以屏蔽灯丝杂散光。

调整探测器的参考面，使其垂直于光轨的水平轴线并使参考面的中心位于水平轴线上。调整标准灯的空间姿态使得标准灯的灯丝平面与光轴垂直，并使灯丝面的中心通过光轴。将探测器（或标准灯）的滑车移动至在光学导轨的基线位置，并使探测器（或标准灯）的参考面与基线对齐，调整探测器（或标准灯）所在滑车的游标清零。



图2校准光路示意图

7.2.2.2示值误差

点燃标准灯，缓慢地从零升到预定电流值，待预热稳定（约10 min）后开始测量，使用中标准灯电参数波动不超过0.02%，测量完毕，缓慢熄灭标准灯，升降灯电流时间不应小于1 min。

改变探测器参考面与标准灯灯丝平面的距离*li*(*i =* 1, 2, ⋅⋅⋅, *N*, *N*≥5)，让其在探测器参考面产生不同的光合光子通量密度标准值*E*std,*li*，同时记录探测器的光合光子通量密度读数，每台仪器应进行两轮测量，两轮的偏差应小于1%，取两轮的平均值*E*test,*li*为最终校准结果，结果应给出3位有效数字。

相对示值误差*δli*以百分比表示：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

其结果在小数点后保留1位有效数字。

大于1.81×1020s-1m-2 (300 μmol·s-1·m-2)光合光子通量密度的校准，在线性检测仪上测量光合有效辐射计的线性，根据所得非线性修正系数可计算出相应的光合光子通量密度。

7.2.2.2响应度

将探测器与经过校准的光电流计相连接。

点燃标准灯，点燃过程同7.2.2.1。

改变探测器参考面与标准灯灯丝平面的距离*li*(*i =* 1, 2, ⋅⋅⋅ , *N*, *N*≥3)，让其在探测器表面产生不同的光合光子通量密度标准值*E*std,*li*，同时记录探测器的光电流，每台仪器应在三个距离进行两轮测量，两轮的偏差应小于1%，取三个距离平均值的两轮平均值*I*test,*li*为光电流的测量结果。响应度*Rli*可由下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |

最后对3次结果取平均值得到最终的响应度，校准结果应给出3位有效数字。

7.2.2.3余弦响应指数

将光子探测器安装在光度测量装置带有度盘的转动平台上，使平台的转动轴线与光轴一致，通过改变灯和探测器的距离使光合有效辐射计的显示值达到满量程的2/3以上，转动平台，读出角度分别为±5°，±15°，±20°，……，±75°，±80°时仪器各角度下的显示值。

光子探测器应使投射到其上的光所产生的响应符合余弦法则。按公式（3）计算由投射光方向引起的误差*f*2(*ε*,*ϕ*):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

式中：

*ε*——入射光与光子探测器测试面法线所成的入射角；

*ϕ*——入射光与光子探测器测试面水平线所成的方位角；

*Y*(*ε*,*ϕ*)——光入射角为*ε*、方位角为*ϕ*时的光电读数；

*Y*(0,*ϕ*)——光垂直照射在测试面上，方位角为*ϕ*时仪器的光电读数。



图3用于定义函数*f*2(*ε*,*φ*)的坐标系

根据公式（4）计算得到探测器的方向性总误差*f*2:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

式中1.396 rad等于80°。

7.2.2.4长波响应指数

光子探测器与标准灯之间放置红外滤光片（HWB800，厚3 mm），固定标准灯和探测器之间的距离，测量有、无滤光片两种情况下光电读数的响应之比，按式（5）计算长波段响应指数：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5) |

式中，

*Y*(IR)——用2856K标准灯加红外滤光片照射光子探测器时产生的光电读数；

*Y*——用2856 K标准灯（无红外滤光片）照射光子探测器产生的光电读数；

*τ*0——2856 K标准灯施照下的红外滤光片的积分透射比，按式（6）计算。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (6) |

式中，*S*Q(*λ*)为理想光子探测器的相对光谱灵敏度；*P*A(*λ*)为2856K标准灯的相对光谱功率分布；*τ*IR(*λ*)为红外滤光片的光谱透射比。

7.2.2.5短波响应指数

短波响应指数的测量同长波响应指数，将光源换为黑光灯，将红外滤光片换为紫外滤光片（ZWB1，厚2.5 mm）。

光子探测器与标准灯之间放置紫外滤光片（ZWB1），固定黑光灯和探测器之间的距离，测量有、无滤光片两种情况下光电读数的响应之比，按式（7）计算紫外响应指数：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7) |

式中，

*Y*(UV)——用黑光灯（加紫外光片）照射光子探测器时产生的光电读数；

*Y*——用黑光灯（无紫外滤光片）照射光子探测器产生的光电读数；

*τ*1——黑光灯施照下的紫外滤光片的积分透射比，按式（8）计算，其中*S*Q(*λ*)为理想光子探测器的相对光谱灵敏度，*P*UV(*λ*)为黑光灯的相对光谱功率分布，*τ*UV(*λ*)为紫外滤光片的光谱透射比。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (8) |

7.2.2.6光谱失配指数校准

测量光子探测器的相对光谱响应度*s*rel(*λ*)，按式（9）计算相对光谱失配指数*f*1*’*。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (9) |

式中，*S*Q(*λ*)为理想光子探测器的相对光谱灵敏度，*s\**rel(*λ*)为被测光子探测器的归一化的相对光谱响应度：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (10) |

式中，*P*rel(*λ*)为光合光子通量密度标准灯的相对光谱功率分布。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映。校准证书内页推荐格式见附录A。校准证书应至少包含以下内容：

a) 标题：“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点（如果与实验室地址不同）；

d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数标识；

e) 客户的名称和地址；

f) 被校对象的描述和明确标识；

g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k) 校准环境的描述；

l) 校准结果及其测量不确定度的说明；

m) 对校准规范的偏离的说明；

n）校准证书签发人的签名、职务或等效标识；

o）校准结果仅对被校对象有效的声明；

p）未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

光合有效辐射计的复校时间间隔建议为一年。若发现测量结果异常时，应随时进行校准。使用者可根据实际的使用情况，自主决定复校时间间隔。

附录A

校 准 证 书 数 据 页 格 式

**光合光子通量密度校准结果**

|  |  |
| --- | --- |
| 标准值 | 测试值 |
| s-1m-2 | μmol·s-1m-2 | s-1m-2 | μmol·s-1m-2 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**光子探测器灵敏度校准结果**

|  |  |
| --- | --- |
| 光子探测器编号 | 灵敏度 |
| mA/s-1m-2 | mA/1000μmol·s-1m-2 |
|  |  |  |
|  |  |  |

**光子探测器光谱特性校准结果**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目类别 | 校准结果 |
| 红外响应指数*f*IR |  |
| 紫外响应指数*f*UV |  |
| 光谱失配指数*f*1 |  |

校准员： 核验员:

附录B

原 始 记 录 格 式（推荐）

光合有效辐射计校准试验记录

送检单位名称：第页/共页

生产厂家：

型号规格：出厂编号：证书编号：

校准依据：

标准器名称、编号、有效期：

标准灯编号：灯电流（A）:灯电压（Ｖ）:

发光强度（cd）: 色温（K）:

探测器游标修正量：探测器位置：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 灯位置(m) | 灯和探测器之间距离(m) | 标准光合光子通量密度 | 仪器显示值 | 备注 |
| (s-1m-2) | (μmol·s-1m-2) |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

校准员： 核验员： 温度： ℃ 湿度： %RH

光子探测器灵敏度校准试验记录

送检单位名称：第页/共页

生产厂家：

型号规格：出厂编号：证书编号：

校准依据：

标准器名称、编号、有效期：

标准灯编号：灯电流（A）:灯电压（Ｖ）:

发光强度（cd）: 色温（K）:

探测器游标修正量：探测器位置：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 灯位置(m) | 灯和探测器之间距离(m) | 光电流(mA) | 标准光合光子通量密度 | 灵敏度 |
| s-1m-2 | μmol·s-1m-2 | mA/s-1m-2 | mA/1000μmol·s-1m-2 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

校准员： 核验员： 温度： ℃ 湿度： %RH

附录C

光合光子通量密度计算方法

已知标准灯的发光强度*I*，则它在探测器表面所产生光照度记为*E*v，再测得标准灯辐射功率的相对光谱分布*φ*std,r(*λ*)，就可以按照如下方法计算被测光源在探测器上产生的光合光子通量密度（PPFD）。

C.1计算标准光源在探测器表面产生的光照度

若已知被测光源的发光强度为*I*，探测器表面距离灯丝平面中心的距离为*d*,则标准光源在探测器表面产生的光照度为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (C1) |

C.2计算被测光源的光谱辐射功率密集度*φ*rel(*λ*)

在上述条件下，若标准光源在探测器表面处的光谱功率分布为*φ*std,r(*λ*)，则其与照度*E*v的关系为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (C2) |

式中683为人眼的光视效能常数，*kφ*为标准光源的灵敏度系数。

由式(C1)和（C2）可计算出*kφ*，由此计算得到标准灯在探测器表面处的光谱功率分布*φ*std(*λ*)。

C.3计算探测器表面的光合光子通量密度

在波长*λ*处的光子通量密度为

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (C3) |

则在(400～700) nm间的光合光子通量密度为:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (C4) |

上式中*N*的单位为s-1m-2，若将其除以6.022×1017，则其单位可表示为μmol·s-1m-2。