

ICS 65.060.70

备案号：08-2022

团 体 标 准

T/SZFAA 08-2022

设施农业草莓种植用 LED 灯评价技术规范

Technical Evaluation Specification of LED Lamps for
Strawberry Cultivation in Protected Agriculture

2022—12—02 发布

2022—12—08 实施

深圳市设施农业行业协会 发布

目 录

前 言.....	II
1. 范 围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 草莓种植用 LED 灯.....	1
3.2 光子通量.....	1
3.3 光生物有效光子通量.....	2
3.4 光生物有效光子数密度.....	2
3.5 光生物有效光子数效率.....	2
3.6 光生物有效光子通量维持率.....	2
3.7 光谱分布.....	2
4. 分类.....	2
4.1 按应用场景分类.....	2
4.2 按产品类型分类.....	2
5. 评价技术要求.....	3
5.1 一般要求.....	3
5.2 温室补光草莓 LED 灯评价要求.....	4
5.3 植物工厂草莓种植用 LED 灯评价要求.....	4
6 试验方法.....	5
6.1 试验条件.....	5
6.2 草莓 LED 灯一般要求试验方法.....	5
6.3 草莓 LED 灯光照评价试验方法.....	5
附录 A（资料性附录）草莓 LED 灯光谱.....	7
附录 B（规范性附录）植物工厂用草莓 LED 灯的智能系统.....	8

前 言

本文件按GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

本文件适用于设施农业草莓种植用LED灯的性能和技术评价。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由深圳市设施农业行业协会（SZFAA）制定发布，版权归SZFAA，其他机构采用本标准的技术内容制定标准需经SZFAA允许；任何单位或个人引用本标准的内容需指明本标准的标准号。

本规范由国家半导体光源产品检验检测中心（广东）/广东省东莞市质量监督检测中心提出，由深圳市设施农业行业协会归口管理。

本标准起草单位：广东省东莞市质量监督检测中心、惠州市弘锐光电科技有限公司、广东晶科电子股份有限公司、深圳民爆光电股份有限公司、旭宇光电（深圳）股份有限公司、深圳市霍迪科技有限公司、山东贵翔光电有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院、广东绿爱生物科技股份有限公司、杭州益昊农业科技有限公司、深圳市华笙光电电子有限公司、深圳市朗科智能电气股份有限公司、福建天电光电有限公司、深圳承越科技有限公司、青岛镭创光电技术有限公司、深圳市艾格斯特科技有限公司、深圳市超频三科技股份有限公司、深圳市深光联检测有限公司、深圳市设施农业行业协会。

本标准主要起草人：李本亮、丁俞林、曾照明、谢祖华、曹小兵、杨雄、王波、杨豫森、陈光彩、季慧华、沈蔚、张玉杰、李昇哲、向绍锋、马长勤、苏涛、雷堡乐、李钊，史小波、张明岗、陈泽娜、张静。

参与本标准的标审单位：中国科学院植物研究所、福建中科生物股份有限公司、华南农业大学、深圳大学、天津理工大学、湖南农业大学、清华大学深圳国际研究生院、中国农业科学院果树研究所、中国华录·松下电子信息有限公司、四维生态科技（杭州）有限公司、埃森泊格农业设备（北京）有限公司、上海三得农业发展（集团）有限公司、广东善栽农业科技有限公司。

参与本标准的标审专家：李绍华、李阳、刘厚诚、刘士德、王达健、周智、马建设、王海波、王际洲、陈晓峰、麻卫平、韩一华、茆学华、赵建宇。

设施农业草莓种植用 LED 灯评价技术规范

1 范围

本文件规定了基于设施农业草莓种植用 LED 灯产品的一般要求，性能和技术评价技术要求，包括分类、一般要求、光生物有效光子性能要求、产品评价分级、测试方法和光谱及灯的智能系统的附录。

本文件适用于温室补光、植物工厂等条件下的草莓种植用 LED 灯的技术评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。

凡是标年份的引用文件，其随后所有的修改单（不包括测量的内容）或修订版均不适用本标准，在经过标准修订后再根据本标准引用这些文件的最新版本。

GB 7000.1-2015 灯具第 1 部分：一般要求与试验

GB 17625.1 电磁兼容限值谐波电流发射限值（设备每相输入电流 $<16\text{A}$ ）

GB/T 17743 电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法

GB/T 18595 一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求

GB/T 24819-2009 普通照明用 LED 模块安全要求

GB 24906-2010 普通照明用 50V 以上自镇流 LED 灯安全要求

GB/T 32655-2016 植物生长用 LED 光照术语和定义

GB/T 33721-2017 LED 灯具可靠性试验方法

GB/T 36976-2018 LED 产品空间颜色分布测量方法

GB/T 39394-2020 LED 灯、LED 灯具和 LED 模块的测试方法

T/SZFAA 02-2021 种植工艺光谱技术规范第 1 部分术语定义

3 术语和定义

GB/T 32655-2016、T/SZFAA 02-2021 界定的以及术语和定义适用于本文件。本文件重复列出了在本文件中有新的界定的术语和定义。

3.1 草莓种植用 LED 灯 LED Lamps for Strawberry Cultivation

是指草莓种植用 LED 光照产品的统称，包括种植用 LED 模块、LED 自镇流灯、管型或条形 LED 灯、固定式 LED 灯具、嵌入式 LED 灯、可移式 LED 灯具等。

以下简称“草莓 LED 灯”。

3.2 光子通量 Photon Flux (PF)

LED 灯在单位时间内的辐射的光子数。

$$\Phi_p = \frac{dN_p}{dt}$$

式中 Φ_p 为光子通量, N_p 为发射、传输或吸收的光子数, t 为时间。

单位: $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.3 光生物有效光子通量 Photobiological Effective Photon Flux (PEPF)

280 nm 到 800 nm 波长范围内, 在单位时间内, LED 灯辐射的可被植物接收到的用于光生物有效作用的光子数。

单位: $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.4 光生物有效光子数密度 Photobiological Effective Photon Number Density (PEPND, 可简称为 PD)

280 nm 到 800 nm 波长范围内, 在单位时间内单位面积上接收的光子数量。

以下简称“光子密度”(Photon Density, PD)。单位: $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3.5 光生物有效光子数效能 Photobiological Effective Photon Number Efficacy (PEPNE, 可简称为 PE)

280 nm 到 800 nm 波长范围内, LED 灯在单位功率单位时间内发出的光子数量。

以下简称“光子效能”(Photon Efficacy, PE)。单位: $\mu\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}$ 。

3.6 光生物有效光子通量维持率 Photobiological Effective Photon Flux Maintain Rate (PEPFNMR)

280 nm 到 800 nm 波长范围内, LED 灯在规定条件下燃点到特定时间后灯所发出的光子数量与初始光子数量的比值, 用百分比表示。

以下简称“光子通量维持率”。

3.7 光谱分布 Spectral Distribution (SD)

在波长 λ 处, 包含 λ 的波长间隔 $d\lambda$ 内的辐射量或光度量或光子量 $dX(\lambda)$ 与该波长间隔之商。

$$X_\lambda = \frac{dX(\lambda)}{d\lambda}$$

光子通量光谱分布的单位通常为: $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$

4、分类

4.1 按应用场景分类

按应用场景, 设施农业草莓种植用 LED 灯主要分为温室补光 LED 灯以及植物工厂用 LED 灯。

4.2 按产品类型分类

温室补光草莓 LED 灯产品按类型主要包括: 种植用 LED 模组、自镇流 LED 灯、管型或条形 LED 灯、圆形或圆筒形 LED 灯、固定式 LED 灯具、可移式 LED 灯具。

植物工厂草莓 LED 灯按产品类型主要包括：固定式 LED 灯具、嵌入式 LED 灯具、可移动式 LED 灯具。

5. 评价技术要求

5.1 一般要求

草莓 LED 灯应满足安全可靠、性能稳定以及满足草莓种植的一个完整种植周期或某一个生长发育时期的光照需求。

5.1.1 安全

草莓 LED 灯应满足的安全要求如下：

LED 模块符合 GB/T 24819-2009 的要求；自镇流 LED 灯应符合 GB 24906-2010 的要求；管型或条形 LED 灯应符合 GB 7000.1-2015 的要求；固定式、可移动式、嵌入式 LED 灯具应符合 GB 7000.1-2015 及与其类型相对应的 GB 7000 系列标准的特殊要求。

5.1.2 电磁兼容

草莓 LED 灯的电磁兼容性能应符合以下要求：

无线电骚扰特性符合 GB/T 17743 的规定；

输入电流谐波符合 GB 17625.1 的规定；

电磁兼容抗扰度符合 GB/T 18595 的规定。

5.1.3 光电性能

5.1.3.1 功率因数

草莓 LED 灯在额定电压和额定频率下工作时，其实际测试的功率因数应不比生产者的标称的功率因数数值低 0.02。

5.1.3.2 光生物有效光子通量

草莓 LED 灯的光生物有效光子通量实测值应不低于标称值的 95%。

5.1.3.3 光子通量维持率

草莓 LED 灯的光生物有效光子通量维持率在燃点 6000 h 后应不低于其初始值的 97%。

5.1.3.4 空间颜色均匀性

草莓 LED 灯的空间颜色均匀性 $\Delta_{uv} \leq 0.01$ 。

5.1.3.5 寿命及开关试验

草莓 LED 灯的 L90 额定寿命应不低于 20000 h。

草莓 LED 灯通过 10000 次的开关试验后，应仍能正常工作。

5.1.4 防护性能

外壳防护性能应符合以下要求：

草莓 LED 灯的整灯防护等级宜达到 IP54 及以上，光源腔宜达到 IP65 及以上。

5.1.5 标志和说明

产品必须在产品本体/铭牌/标签/说明书上提供如下信息：

- a) 光生物有效光子通量；
- b) 光强度分布数据（配光曲线）；
- c) 光谱图，并标明主峰值；
- d) 外壳防护等级；
- e) L90 的宣称寿命；

5.2 温室补光草莓 LED 灯评价要求

温室补光草莓 LED 灯的光子效能等级评价按表 1 的要求进行。

表 1 温室补光草莓 LED 灯产品光子数效率 (PE) 等级评价

光子效能等级	A 级	AA 级	AAA 级	AAAA 级	AAAAA 级
光子效能 PE ($\mu\text{mol}\cdot\text{J}^{-1}$)	≥ 2.1 且 < 2.4	≥ 2.4 且 < 2.7	≥ 2.7 且 < 3.0	≥ 3.0 且 < 3.3	≥ 3.3

温室补光草莓 LED 灯的光谱评估可参考附录 A。

温室补光草莓 LED 灯的光照均匀性等级评价按表 2 的要求进行。

表 2 温室补光草莓 LED 灯产品均匀性等级评价

光照均匀性等级	A 级	AA 级	AAA 级	AAAA 级	AAAAA 级
光子密度均匀度 ($PD_{\min}/PD_{\text{avg}}$)	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90

5.3 植物工厂草莓种植用 LED 灯评价要求

植物工厂草莓种植用 LED 灯产品的光子效能 (PE) 等级评价按表 3 的要求进行评价。

表 3 植物工厂草莓种植用 LED 灯产品光子效率 (PE) 等级评价

光子效能等级	A 级	AA 级	AAA 级	AAAA 级	AAAAA 级
光子效能 PE ($\mu\text{mol}\cdot\text{J}^{-1}$)	≥ 2.1 且 < 2.3	≥ 2.3 且 < 2.5	≥ 2.5 且 < 2.7	≥ 2.7 且 < 3.0	≥ 3.0

植物工厂草莓种植用 LED 灯的光谱评估可参考附录 A。

植物工厂草莓种植用 LED 灯产品的光照均匀性及光子密度等级评价按表 4 的要求进行。

表4 植物工厂草莓种植用LED灯产品均匀性及光子密度等级评价

光子密度及光照均匀性等级	A 级	AA 级	AAA 级	AAAA 级	AAAAA 级
育苗期及生长期光子密度 PD ($\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	≥ 100 且 <150		≥ 150 且 <200		≥ 200 且 <250
开花期及结果期光子密度 PD ($\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	≥ 200 且 <250		≥ 250 且 <300		≥ 300
光照均匀度 ($\text{PD}_{\text{min}}/\text{PD}_{\text{avg}}$)	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90

植物工厂草莓种植用 LED 灯的智能系统评价可参考附录 B 进行。

6 测试方法

6.1 测试条件

草莓 LED 灯的一般要求测试环境应符合 GB/T 39394-2020 的规定。

6.2 草莓 LED 灯一般要求测试方法

草莓 LED 灯的安全、电磁兼容要求的测试方法按照相应的国家标准要求。

草莓 LED 灯光电性能测试按照 GB/T 39394-2020 规定的测试方法进行。

草莓 LED 灯的寿命测试应用 GB/T 33721-2017 第 14 章中规定的 1000 h 验证法进行测试。

草莓 LED 灯的开关测试方法如下：连接 LED 灯到其标称额定输入电压或者输入电流下，功率达到制造商的标称值的条件下，将模块进行开启和关闭各 30 s 的循环测试。在测试结束后，以上产品应能持续工作 15 min 以上。

草莓种植用 LED 灯的防护性能按照 GB7000.1 规定的测试方法进行。

6.3 草莓 LED 灯光照评价测试方法

6.3.1 空间颜色均匀性

草莓 LED 灯的空间颜色均匀性测试方法按照 GB/T 36976-2018 标准第 9 章规定的测试方法进行。

6.3.2 光子效能

采用具有植物光照测试的光谱分析系统（积分球光谱辐射计或分布光谱辐射计）测量灯具的光谱图或曲线，测试方法按照 GB/T 39394-2020 中 5.4.1 和 5.4.2 进行。

使用光分布系统测试获得灯的光谱图或曲线的同时，根据公式（1）积分计算可得光生物有效光子数量。积分球光谱辐射计适用于小型灯具的测量；分布光谱辐射计对任何灯具均适用。

$$\Phi_p = dN_p / dt = \int \Phi_{e\lambda} \cdot \lambda / (n_A \cdot hc) d\lambda \quad (1)$$

其中：

N_p —光子个数； t —时间；

$\Phi_{e\lambda}$ —辐射能通量的光谱密集度；

λ —波长；

n_A —阿佛加德罗常数；

h —普朗克常数；

c —光速。

按公式（1）计算光生物有效光子数量，并除以灯具的输入功率来计算光子效率 PE。

6.3.3 光谱分布测试

采用具有植物光照测试的光谱分析系统（积分球光谱辐射计或分布光谱辐射计）测量灯具的光谱图或曲线，测试方法按照 GB/T 39394-2020 中 5.4.1 和 5.4.2 进行。

6.3.4 光照光均匀性

采用单个草莓种植用 LED 灯进行测试，灯具按照正常工作状态安装后，在光束角（50% 峰值光强）照射的区域内，植物补光用草莓 LED 灯在下方垂直距离 1 m 处进行测试；植物工厂用草莓 LED 灯在下方垂直距离 30 cm 处进行测试，布点间距不大于被测区域的直径或宽度的十分之一。

附录 A

(资料性附录)

草莓 LED 灯光谱

草莓 LED 灯的光谱参考内容如下：

1、采用蓝红配（紫光）的草莓 LED 灯时：

1) 光谱覆盖的主峰值点建议为^[1]：

蓝光：436nm±5nm ~ 450nm±5nm ；

红光：660nm±5nm ~ 680nm±5nm。

2) 育苗期及生长期：

参考现有的研究结果^[2-3]，蓝光对根系生长及开花有较好的促进作用，建议如下：

蓝光波长范围内的光谱能量不宜超过 30%。

3) 开花期及结果期：

参考现有的研究结果^[4]，红光对植株生长及果实增产有较好的促进作用，建议如下：

红光波长范围内的光谱能量不宜超过 70%。

2、采用白光或全光谱的草莓 LED 灯时，应首先考虑光子密度^[5-6]，对光谱的配比宜关注绿光的占比^[7]，绿光波长范围内的光谱能量不宜超 20%。

附录 B

(规范性附录)

植物工厂用草莓 LED 灯的智能系统

B.1 草莓 LED 灯的智能系统等级

植物工厂用草莓 LED 灯的智能系统功能分级如附表 B.1 所示，此表可用于草莓 LED 灯植物工厂智能控制系统的评价依据。

表 B.1 植物工厂用草莓 LED 灯智能化评价等级

项目	A 级	AA 级	AAA 级	AAAA 级	AAAAA 级
光照强度调节	不具备调光功能	具备调节光强和光照时间功能	具备调节光强和光照时间功能，且具备1-2路档位控制光谱变化	具备调节光强和光照时间功能，且具备3-4路档位控制光谱变化	具备调节光强和光照时间功能，且具备5路及以上档位控制光谱变化
PD (光子密度) 调控	不具备调光功能	具备2种及以上调节档位	具备3种以上调节档位， ，或建设有3种以上不同的光生物有效光子通量密度生长区		
光周期调控	不具备调光功能	具备2种及以上调节档位，或建设有2种以上的光周期生长区	具备3种以上调节档位 ，或建设有3种以上的光周期生长区		

注：其他场合的智能化评价在考虑中。

B.2 草莓 LED 灯智能系统评价等级试验方法

使用具备测试光子数测量的照度计，在每个调节周期内测试光子数密度值，在草莓种植用 LED 灯正下方 30 cm 处测试。

使用测试光子数测量的照度计，在每个调节周期内测试一次光子数密度值，并使用时间记录装置，记录光周期持续的时间，在草莓 LED 灯正下方 30 cm 处测试。

使用测试植物光谱分析仪，在每个调节周期内测试一次光谱，在草莓 LED 灯正下方 30 cm 处测试。

根据系统说明说，在产品典型的状态下，使用光子数照度计、植物光谱分析仪，记录每个调控状态下的光照度、光谱参数值，在草莓 LED 灯正下方 30 cm 处测试。

资料性附录参考文献:

- [1] Hideo Yoshidala, Daiki Mizuta, Naoya Fukuda, Shoko Hikosaka, Eiji Goto. Effects of varying light quality from single-peak blue and red light-emitting diodes during nursery period on flowering, photosynthesis, growth, and fruit yield of everbearing strawberry. *Plant Biotech.[JJ]*, 33: 267-276, 2016.
- [2] María Victoria Díaz-Galián, Magdalena Torres, Jose David Sanchez-PagánS, Pedro J. Navarro, Julia Weiss, Marcos Egea-Cortines. Enhancement of strawberry production and fruit quality by blue and red LED lights in research and commercial greenhouses. *South African J. Botany[JJ]*, 7: 23-47, 2020.
- [3] Hyo Gil Choil, Joon Kook Kwon, Byoung Yong Moon, Nam Jun Kang, Kyoung Sub Park, Myeong Whan Cho, and Young Cheol Kim. Effect of different light emitting diode (LED) lights on the growth characteristics and the phytochemical production of strawberry fruits during cultivation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.[JJ]*, 31(1): 56-64, 2013.
- [4] Md. Raihan Talukder, Md. Asaduzzaman, Hideyuki Tanaka, Toshiki Asao. Light-emitting diodes and exogenous amino acids application improve growth and yield of strawberry plants cultivated in recycled hydroponics. *Scientia Horticulturae[JJ]*, 239: 93-103, 2018.
- [5] Jianfeng Zheng, Dongxian He, Fang Ji. Effects of light intensity and photoperiod on runner plant propagation of hydroponic strawberry transplants under LED lighting. *Int J Agric & Biol Eng.[JJ]*, 12(6): 26-31, 2019.
- [6] Kazuya Maeda and Yoshikazu Ito. Effect of different PPFDs and photoperiods on growth and yield of everbearing strawberry ‘Elan’ in plant factory with white LED lighting. *Environ. Control Biol.[JJ]*, 58(4): 99-104, 2020.
- [7] Helio Dos Santos Suzana Guiamba, Xiwen Zhang, Edyta Sierka, Kui Lin, Muhammad Moaaz Ali, Waleed M. Ali, Sobhi F. Lamloom, Hazem M. Kalaji, Arkadiusz Telesinski, Ahmed Fathy Yousef, Yong Xu. Enhancement of photosynthesis efficiency and yield of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) plants via LED systems. *Frontiers in Plant Science[JJ]*, 9: 1-17, 2022.