



团 体 标 准

T/CSA 080—2022

人工光植物工厂 紫外 LED 光照系统 一般 技术要求

General technical requirements for UV LED lighting system of plant
factory with artificial light

版本：V01.00

2022 - 10 - 31 发布

2022- 10 - 31 实施

中关村半导体照明工程研发及产业联盟 发布

目 次

| | |
|-----------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 分类 | 2 |
| 4.1 按控制类型 | 2 |
| 4.2 按灯具光谱分布范围 | 2 |
| 4.3 按使用对象 | 3 |
| 5 技术要求 | 3 |
| 5.1 光照产品要求 | 3 |
| 5.2 光照系统要求 | 4 |
| 5.3 控制系统要求 | 5 |
| 5.4 灯具安装要求 | 6 |
| 6 测试方法 | 6 |
| 6.1 光照产品性能测试 | 6 |
| 6.2 LED 光照系统测试 | 7 |
| 6.3 控制系统符合性检验 | 8 |
| 7 效果评价方法 | 8 |
| 7.1 概述 | 8 |
| 7.2 平均营养值 (ANV) | 8 |
| 7.3 壮苗指数 | 8 |

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

本文件由中关村半导体照明工程研发及产业联盟标准化委员会（CSAS）制定发布，版权归 CSA 所有，未经 CSA 许可不得随意复制；其他机构采用本文件的技术内容制定标准需经 CSA 允许；任何单位或个人引用本文件的内容需指明本文件的标准号。

请注意本文件在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。

本文件起草单位：中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、厦门通裕科技股份有限公司、中关村半导体照明联合创新重点实验室、中国科学院半导体研究所、杭州远方光电信息股份有限公司、苏州纽克斯电源技术股份有限公司、北京大学东莞光电研究院、广东省东莞市质量监督检测中心、广州赛西标准检测研究院有限公司、佛山市国星光电股份有限公司、晶能光电（江西）有限公司、上海三思电子工程有限公司、易美芯光（北京）科技有限公司、杭州华普永明光电股份有限公司、深圳民爆光电股份有限公司、哈尔滨照明检测中心、鸿利智汇集团股份有限公司、英飞特电子（杭州）股份有限公司、厦门市信达光电科技有限公司、珈伟新能源股份有限公司、宁波升谱光电股份有限公司、东莞市擎洲光电科技有限公司、厦门市产品质量监督检验院、上海应用技术大学、深圳市半导体产业发展促进会、烟台华创智能装备有限公司。

本文件主要起草人：李涛、程瑞锋、徐虹、魏学成、徐圆圆、余湛、李倩、浦敏、丁晓民、邓锡康、吴杜雄、袁毅凯、赵森、王琼、陈磊、卓越、夏誉、谢祖华、樊庆伟、吕天刚、王义友、陈亚勇、刘忠祺、牛宏强、陈坤、葛莉茹、李月锋、鲍恩忠、邹军。

中国农业科学院都市农业研究所郑胤建博士、卞中华博士以及四维生态科技（杭州）有限公司陈晓峰副总为本文件的撰写提供了大量支持，在此一并表示感谢。

人工光植物工厂光照系统紫外 LED 应用一般技术要求

1 范围

本文件规定了基于人工光植物工厂条件下叶类蔬菜及茄果类蔬菜种苗生产紫外 LED 光照系统的分类、技术要求、测试方法及应用效果评价方法。

本文件适用于人工光植物工厂光照系统以光谱范围为 280 nm~400 nm 的紫外光为叶类蔬菜品质提升及茄果类蔬菜育苗壮苗生产使用的紫外 LED 光照系统。人工光环境下的其它植物生产可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2423.3—2016 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.22—2012 环境试验 第2部分：试验方法 试验 N：温度变化

GB/T 2900.65—2004 电工术语照明

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 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 20145 灯和灯系统的光生物安全性

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 39394—2020 LED 灯、LED 灯具和 LED 模块的测试方法

JB/T 9536—2013 户内户外防腐低压电器环境技术要求

SJ/T 11364—2014 电子电气产品有害物质限制使用标识要求

T/CSA 032—2019 植物光照用 LED 灯具通用技术规范

T/CSA 058—2019 人工光叶菜生产用 LED 光照系统一般技术要求

3 术语和定义

GB/T 2900.65—2004、GB/T 32655—2016、T/CSA 058—2019 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

紫外辐射 ultraviolet radiation

波长小于可见光波长的光学辐射。按照紫外辐射波长，通常分为以下四类：

- a) 长波 UVA (UVA_L) 350 nm·····400 nm
- b) 短波 UVA (UVA_S) 315 nm·····350 nm
- c) UVB 280 nm·····315 nm
- d) UVC 100 nm·····280 nm

注：设施植物光照系统用紫外 LED 峰值波长范围一般为 280 nm~400 nm。

[来源：GB/T 2900.65—2004，845-01-05，有修改]

3.2

人工光植物工厂 plant factory with artificial light

在完全密闭或半密闭条件下以人工光为唯一光源，通过高精度环境控制，实现植物在垂直立体空间上周年计划性生产的高效农业生产系统。

3.3

叶类蔬菜 leafy vegetable

以叶片、叶柄和嫩茎为产品的速生蔬菜。

3.4

茄果类蔬菜种苗 fruit vegetable seedlings

以果实为产品的茄果类蔬菜幼苗，一般指种子播种发芽后到适合移植到其它环境生长的幼小植株。

3.5

壮苗生产 sound seedling

在正常育苗环境下通过一定的作物生产管理措施培育品质优良种苗的生产过程。

3.6

壮苗指数 sound seedling index

用于评价幼苗品质的参数，壮苗指数越大，反映苗越壮，移栽后生长越好。

3.7

次生代谢物质 secondary metabolite

生物体产生的一大类非生长发育必需的小分子有机化合物。

4 分类

4.1 按控制类型

按控制类型，人工光植物工厂生产用紫外 LED 灯具分为可调光、不可调光。其中可调的光参数包括光子通量密度、光周期、光谱分布等。

4.2 按灯具光谱分布范围

按灯具光谱分布范围，人工光植物工厂生产用紫外 LED 灯具分为紫外-可见光 LED 混合灯具模组和独立紫外 LED 灯具模组。

4.3 按使用对象

按使用对象，人工光植物工厂生产用紫外 LED 灯具分为蔬菜类（包含叶类蔬菜，果菜以及药食同源作物）生产用及中草药的次生代谢物质等品质提升和形态控制生产用紫外 LED 灯具。

5 技术要求

5.1 光照产品要求

5.1.1 结构和外观

紫外 LED 灯具结构和外观应符合 T/CSA 032—2019 中 5.1 的规定。

5.1.2 电学特性

紫外 LED 灯具的电学特性应符合 T/CSA 032—2019 中 5.2 的规定。

5.1.3 光学特性

5.1.3.1 紫外 LED 灯具总辐射光子通量实测值不低于标称值的 90 %。

5.1.3.2 人工光植物工厂用典型紫外波段的 LED 灯具光子效率要求见表 1：

表1 人工光植物工厂用典型紫外波段光子效率要求

| 波段 | 典型峰值波长 (nm) | 光子效率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}$) |
|------------------|----------------|---|
| UVA _L | 365~385 | ≥ 1.0 |
| UVB | 300~315 | ≥ 0.05 |

5.1.4 环境适应性

紫外 LED 灯具应能在温度 0 °C~40 °C、相对湿度不高于 90 %的环境下正常工作。

5.1.5 光子通量维持率

紫外 LED 灯具的光子通量维持率应符合以下要求：

UVA_L 产品光子通量维持率在燃点 20 000 h 后应不低于其初始值的 50 %；UVB 产品光子通量维持率在燃点 8 000 h 后应不低于其初始值的 50 %。

5.1.6 外壳防护性能

紫外 LED 灯具的外壳防护性能要求为：

- a) 防护等级宜达到 IP54 的要求，在有淋水的环境中使用应满足 IP65 的防护等级；

- b) 抗冲击性能应满足 GB 7000.1—2015 中 4.13 的要求；
- c) 灯具防腐等级应达到 JB/T 9536—2013 规定的 F2 要求。

5.1.7 安全要求

紫外 LED 灯具应符合 GB 7000.1—2015 及与其类型相对应的 GB 7000 系列标准中的特殊要求。

按照 GB/T 20145 评价 LED 灯具的光化学紫外危害或近紫外危害。危害等级 1 类或以上时，应在灯具上标注如图 1 所示的警告标志；危害等级为 1 类的应标注警告语：注意，该产品有紫外辐射；危害等级为 2 类或 3 类时应标注警告语：警告，该产品有紫外辐射。



图 1 LED 灯具紫外危害警告标识

5.1.8 电磁兼容性能

紫外 LED 灯具的电磁兼容性能应符合以下要求：

- a) 无线电骚扰特性应符合 GB/T 17743 的规定；
- b) 输入电流谐波应符合 GB 17625.1 的规定；
- c) 电磁兼容抗扰度应符合 GB/T 18595 的规定。

5.1.9 信息披露要求

人工光植物工厂用紫外 LED 灯具产品必须在产品本体/铭牌/标签/说明书上提供如下信息：

- a) 总辐射通量、总光子通量；
- b) 辐射强度分布数据（配光曲线）；
- c) 辐射光谱分布曲线，并标明主要波段峰值波长；
- d) 根据 SJ/T 11364—2014，标注电子电气产品有害物质限制使用标志，并在适用时提供产品中有害物质的名称及含量；
- e) 外壳防护等级、防腐等级；
- f) 使用寿命；
- g) 安全防护管理措施。

5.2 光照系统要求

5.2.1 光配方要求

5.2.1.1 光谱分布

光谱分布包含近紫外波段（UVA）和中紫外波段（UVB），其中近紫外波段包含长波UVA（UVA_L）和短波UVA（UVA_S）。各波段光谱范围及典型峰值波长范围见表2。

表2 人工光植物工厂用紫外波段光谱范围及典型峰值波长范围

| 波段 | 光谱范围 (nm) | 典型峰值波长范围 (nm) |
|------------------|--------------|------------------|
| UVA _L | 350~400 | 365~385 |
| UVB | 280~315 | 300~315 |

注1：当前市场难以批量获取短波 UVA_s 波段 LED 产品，故 UVA_s 光环境在本技术标准里暂不作要求。

注2：本节有关紫外LED光配方要求均以植物冠面高度光合作用光子通量密度为 $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ~ $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 为前提，因为植物生长无法单独使用紫外光，必须以可见光作为背景光。

5.2.1.2 光子通量密度 (PFD_{uv})

叶类蔬菜及茄果类蔬菜种苗使用的紫外LED光子通量密度分别为：

——叶类蔬菜：以提升产量促进品质形成为目的，叶类蔬菜冠面高度 UVA_L 波段 PFD_{uv} 宜为

$10 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ~ $20 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ；

——茄果类蔬菜种苗：以提升种苗抗性、壮苗生产为目的，种苗冠面高度 UVB 波段 PFD_{uv} 宜不高于

$5 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ；UVA_L 波段 PFD_{uv} 宜为 $10 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ~ $20 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

5.2.1.3 光周期

在光照期的调控范围内，设置光照期/黑暗期的时间比例宜为 1/1~5/1。

5.2.2 PFD_{uv} 空间分布

灯具厂商应提供PFD_{uv}空间分布曲线。

5.3 控制系统要求

5.3.1 系统功能要求

系统运行的控制功能应包含以下内容：

- 实时开灯、关灯；
- 实时调光（调整光配方参数）；
- 设置灯的默认/计划开灯时间、关灯时间；
- 设置灯默认/计划的光谱输出比例；
- 设置灯默认/计划的光子通量密度；
- 故障报警。

5.3.2 控制参数要求

5.3.2.1 PFD_{uv} 调控范围

叶类蔬菜及茄果类蔬菜种苗使用的紫外 LED 灯具 PFD 调控范围分别为：

——叶类蔬菜：冠面上的 UVA_L PFD_{uv} 调控范围宜在 $(0\sim20) \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。可以是分段调控，也

可以是无级连续调控。

——茄果类蔬菜种苗：冠面上的UVB PFD_{uv}调控范围宜在(0~5) μmol·s⁻¹·m⁻²。可以是分段调控，也可以是无级连续调控。

5.3.2.2 光周期调控范围

光照期的调控范围宜为720 min~1200 min；相对应的黑暗期调控范围宜为720 min~240 min；光照期和黑暗期时长相加为24 h。

5.3.3 控制系统精度

紫外LED控制系统要求对PFD_{uv}、光谱、光周期分别进行独立及组合的设定和调控，经过分段或无级调控过程并处于稳定运行状态时，在冠面上测得的控制参数与设定值的偏差范围规定如下：

- a) PFD_{uv}控制在稳定运行状态时的实测值相对于设定值的偏差不大于10%；
- b) 光谱控制：在稳定运行状态时，各波段的峰值波长偏差范围 $\Delta \lambda \leq \pm 5 \text{ nm}$ ；
- c) 光周期控制计时器的实时计时精度 $\Delta T \leq 2 \text{ s}$ 。

5.4 灯具安装要求

不论何种形态灯具（点、线、面），灯具安装要求应符合T/CSA 058—2019中5.4的规定。

紫外LED光照产品或系统安装后须配备安装使用说明书，说明人体可持续暴露在系统下的安全时间与安全距离。

6 测试方法

6.1 光照产品性能测试

6.1.1 结构和外观

采用目视法检验。

6.1.2 电学特性

试验条件一般要求应符合GB/T 39394—2020中4.1的相关规定。

按照T/CSA 032—2019中第6.3.1节测量LED灯具的电学性能。

6.1.3 光学特性

参考GB/T 39394—2020中第6.2节测量光子通量，使用波长范围覆盖LED波长范围的光谱辐射计作为探测设备，测量得到LED灯具总光谱辐射通量，并按照T/CSA 032—2019中公式（1）计算得到光子通量。

6.1.4 环境适应性测试

6.1.4.1 温度循环试验

按照GB/T 2423.22—2012的试验Nb：“规定变化速率的温度变化”的规定，试验温度：0℃~35℃，

温度循环试验的循环次数为250次。单次循环的试验程序如下：

- a) 灯具在最大试验温度环境下达到稳定，然后断开电源，试验箱内的环境温度以 (10 ± 2) K/min的速率降低到最小试验温度；
- b) 灯具在最小试验温度下保持断开电源50 min，然后进行10次“10 s开、50 s关”的循环；
- c) 灯具接通电源；
- d) 试验箱内的环境温度以 (10 ± 2) K/min的速率升高到最大试验温度；
- e) 灯具在最大试验温度下保持接通电源50 min，然后进行10次“10 s开、50 s关”的循环；
- f) 试验后，对灯具进行检查，应能正常工作。

6.1.4.2 恒定湿热试验

紫外LED灯应按GB/T 2423.3—2016的规定，放置在温度 (40 ± 2) °C，相对湿度 (93 ± 3) %的条件下，试验过程中紫外LED灯保持通电1 h后断电2 h，重复循环至168 h，然后在0.5 h内将温度调至 (25 ± 2) °C（室温），环境湿度 (75 ± 20) %，恢复2 h后。

试验后，对灯具进行检查，应能正常工作。

6.1.5 光子通量维持率

紫外LED灯具的光子通量维持率按照按照GB/T 33721—2017第14章的方法进行；

6.1.6 外壳防护性能

外壳防护性能按以下方法进行测试。

a) 外壳防护等级

按GB 7000.1—2015中第9章的方法进行检测，检测结果应符合5.1.6 a) 的要求。

b) 防腐等级

按JB/T 9536—2013中第6章的方法进行检测，检测结果应符合5.1.6 c) 的要求。

6.1.7 安全性测试

按GB 7000.1—2015及其对应的GB 7000系列标准的规定进行试验。

6.1.8 电磁兼容测试

灯具的电磁兼容试验按以下方法进行测试

- a) 灯具的无线电骚扰特性应按照 GB/T 17743 中的方法进行测试；
- b) 灯具的输入电流谐波应按照 GB 17625.1 中的方法进行测试；
- c) 灯具的电磁兼容抗扰度应按照 GB/T 18595 中的方法进行测试。

6.1.9 信息披露

目测检测紫外 LED 灯具产品本体/铭牌/标签/说明书上披露的信息。

6.2 LED 光照系统测试

6.2.1 光配方参数测试:

按照 T/GSA 058—2019 中第 6.3.1 测量光配方参数, 建议灯具发光面以下 30 cm 处测量光量子通量密度及光谱。所采用的光谱辐射计应覆盖 LED 灯具的紫外辐射波长范围。

6.2.2 辐射均匀性:

按照 T/GSA 058—2019 中第 6.3.1 测量 PFD_{uv} 均匀性, 建议灯具发光面以下 30 cm 处测定。

6.3 控制系统符合性检验

根据产品说明书中的操作方法, 目测检测系统的各项控制功能。

7 效果评价方法

7.1 概述

同一品种在同一种植环境下, 可采用平均营养值或壮苗指数等指标对人工光植物工厂紫外LED应用效果进行评定。

7.2 平均营养值 (ANV)

根据每100 g叶菜可食部分中, 所含蛋白质、纤维素、钙、铁、胡萝卜素和维生素C 6种主要成分的量, 按公式 (1) 计算出分数结果:

$$ANV = \frac{\text{蛋白质}(g)}{5} + \text{纤维素}(g) + \frac{\text{钙}(mg)}{100} + \frac{\text{铁}(mg)}{2} + \text{胡萝卜素}(mg) + \frac{VC(mg)}{40} \dots\dots (1)$$

分数大则营养价值高, 分数小则营养价值低。

7.3 壮苗指数

壮苗指数用于评价紫外LED对种苗壮苗生产的效果, 壮苗指数越大, 反映苗越壮, 移栽后生长越好。具体测试方法如下:

提供对照组 (无紫外LED模组) 及紫外LED处理组下培养的种苗各20株, 各组随机抽取不少于5株样品进行检测。

测试设备: 游标卡尺、尺子、实验用天平、烘箱等。

测试步骤:

- 1) 从各组中随机选取不少于 5 株种苗;
- 2) 用尺子量取种苗基部至茎顶端的距离, 定义为株高;
- 3) 用游标卡尺量取茎秆中部的直径, 随机量取 3 次以上, 取均值定义为茎粗;
- 4) 用剪刀从根基部剪断种苗, 基部以上部分定义为地上部分, 基部以下部分定义为地下部分, 各部分分别放入铝箔盒, 随后放入烘箱中, 设置 105 °C 条件下烘干 24 h 后用天平称取各部分重量, 分别定义为地上部和地下部干重, 地上部干重加地下部干重定义为全株干重;
- 5) 根据业内通用的计算方法计算壮苗指数: 壮苗指数=(茎粗/株高+根干重/地上部干重)×全株干重;

- 6) 取各组中不少于 5 株种苗壮苗指数平均值，比较两组处理下的壮苗指数差异，评判紫外 LED 对种苗壮苗生产的效果。

CSA
