评估植物照明和种植系统安全与性能

探讨 UL 8800 植物照明设备和系统标准

UL Solutions

Safety. Science. Transformation.™

摘要

随着人们开始关注及担忧传统耕种和农业生产能否长期满足未来全球粮食需求，被称为可控环境农业（简称室内农业）的潜在优势受到了更大关注。

室内农业设施全年均可运行，显著提高单位面积产量，同时减轻与传统农业生产相关的环境影响。因此，这些替代 方案可产生显著的促进作用，有望为全世界数十亿人提供新鲜并有营养的食物供应，以及支持全球可持续发展计划。

植物市场中的照明影响

在这种创新的农业环境下，植物专用照明灯具和种植系统是一个关键元素。目前大多数先进的植物照明系统都是以发光二极管（LED）技术为基础，既有可以量身定制的高度灵活性，又有经过校准的发光颜色和强度特性，可满足不同 植物的具体生长需求。因此，植物照明对促进植物发芽、发育和生长以及全面优化农业生产至关重要。然而，之前可用 于评估 LED 灯具和照明系统的标准并未彻底解决植物照明和种植系统可能遇到的特定安全问题。此外，这些标准并 未评估植物照明性能特征，而这是评估和选择适合特定农业应用的灯具和照明系统的关键因素。植物照明相关安全 和性能要求的缺失，使得室内农业设施运营商在为其企业选择更安全、更有效的照明解决方案时面临更大挑战。

在本白皮书中，我们将讨论植物照明对可控环境农业生产发挥的作用，以及适用于此类植物专用灯具和系统的特定安 全与性能要求。我们还会讨论 UL 8800 植物照明设备和系统标准所含安全评估的范围，最后总结 UL 8800 植物照明 和种植系统认证的潜在优势。

室内农业的兴起

由于巨大的技术进步，土地、水及其他自然资源的使用增多以及对全球粮食供应链的依赖性增强，自从 1960 年以来，全世界农业产量增长了三倍有余。[1] 但在许多地方，仍有大量人口遭受饥饿和营养不良的折磨，据报道有 8 亿人长期 以来一直存在饥饿问题，估计有 20 亿人患有微量营养素匮乏症。预测指出，农业产量要在未来 30 年内增长 50% 以上，才能满足 2050 年世界人口（预计将近 100 亿人）对粮食的需求。

为了应对这一挑战，科学家和农业专家从多个方面潜心研究当前粮食生产和消耗行为，探寻如何满足不断增长的粮食需求。举例来说，在过去四十年间，发展中国家对肉类食品的需求量增长三倍，同期蛋类消耗量增长七倍。[2] 但为了满足这种需求，地球上大约 26% 的无冰土地用于放牧，而 33% 的可用耕地用于生产牲畜饲料。[3] 为了满足现在和未来对肉类的需求，创新者正在快速研制并完善实验室内培养技术，采用这种先进技术生产美味可口并有营养的肉类 替代品，而与目前生产普通肉类食品所需的环境资源相比，这种技术的资源消耗少之又少。

Projected world population of nearly
10 billion people
by the year 2050

与此同时，投入大量资金开发可控环境农业生产设施，例如大规模温室和室内农场。据估计，包括所有室内农业生产形式在内的全球智能温室市场将实现显著增长，销售额预计从 2020 年 14 亿美元增长到 2025 年 21 亿美元。[4] 可控环境农业有可能为农业生产带来颠覆性创新，这一点确实引起大型投资公司和著名的个人投资者关注。[5]

特别是室内垂直农业生产极具发展前景。在室内垂直农场，使用在室内可控环境下安装的多层垂直堆叠苗床栽培植物。垂直农业生产设施可以轻松地安装在市内闲置或未充分利用的存储空间，显著简化食品供应链活动，并加快为城市人口供应新鲜食品的速度。与地面耕种作物相比，垂直农场还可能取得明显更高的作物产量，具体取决于垂直高度。由于室内垂直农场始终保持适合植物生长的可控环境，它们可以全年 365 天连续生产，进一步增加总产量。

出于气候变化、能效、节能及其他社会关注的原因，照明市场有望为可持续发展解决方案做出贡献，植物照明 领域发展也会产生影响。

全球智能温室市场

预计将在 **2025** 年实现

21 亿美元

的销售额

植物照明的作用和风险

不可或缺的室内农业技术和方法越来越多，也在一定程度上推动了室内垂直农业以及各种可控环境农业的发展。其中，植物照明可能是对室内农业生产取得成功最重要的因素。这是因为，作为植物发芽、生长和繁殖不可少的过程，光合作用需要的光合有效辐射 (PAR) 只有通过光照才能产生。

因此，在室内农业生产中，植物照明灯用作植物生长所需的主要光源，而在地理、气候或天气条件对自然光照的质量或数量有影响的情况下，它在温室农业生产中用作自然光照的补充。

但为了优化植物发育，在一些重要的方面，植物照明设计与传统照明有所不同。首先，植物照明产品设计要在最有利于植物生长的光谱范围内产生 PAR，最关注的是深蓝色和红色光谱，而传统照明设计通常要适应人眼的反应，最关注的是与绿色和黄色相关的光谱。

内容多达 **300** 页的 **UL 1598** 广泛涉及灯具标准采用多种照明技术的灯具安全要求。

植物照明的其他重要因素包括精确的光合光子通量 (缩写为 PPF，表示每秒发光的光子数) 以及光合光子通量密度(缩写为 PPFD，表示分布在给定表面积内的光子数) 。因为并非所有植物对光都有相同的反应，所以植物照明系统可能采用不同的 PAR、PPF 和 PPFD 参数或可自定义这些参数，以满足特定植物种类的要求。

与常用于传统商业或工业应用的设备不同，用于可控环境农业生产设施的灯具和照明系统也经常受到环境条件影响。例如，为了促进植物发育，室内农业环境通常有更高的环境温度和湿度，要求植物照明设备可在这种条件下可靠运行。植物照明设备还必须能够耐受更加恶劣的尘土环境，以及植物灌溉系统产生的水汽侵蚀。用于制造植物照明系统的塑料及其他材料必须满足这些条件的要求，并可承受长期的紫外线 (UV) 辐射暴露。

与通常安装在固定位置的普通灯具和照明系统不同，植物照明位置经常调整以使植物充分利用光照条件。因此，植物照明灯具可通过可调节的缆索或链条安装，或在活动支架上安装。在这两种情况下，灯具均可安装大量电缆、电线、接头和插头以提高定位灵活性。

但这种电气连接数量增加的情况也可造成特定的安全问题，必须在照明系统本身的设计中解决此类问题。

最后，随着 LED 成为大多数植物灯具和照明系统首选使用的照明技术，还要考虑因暴露于 LED 光照而产生的可能有害的光生物学效应。光生物学效应可能包括皮肤刺激以及眼部表皮和视网膜刺激，并可导致光性角膜炎、紫外线红斑、白内障或视网膜热损伤。因为在室内农业生产环境下工作的人员经常会近距离接触灯具，进而增加潜在暴露风险，所以采用 LED 技术的植物照明必须全面考虑这些风险。

关于 UL 8800

UL 8800 旨在解决植物灯具、照明组件和种植系统特有的安全问题，也是专门针对植物照明设备的第一套综合性标准化要求。因此，UL Solutions 按照 UL 8800 要求认证产品，评估要为设备和装置获得 UL 安全标志的制造商的植物照明设备。

UL 8800 作为安全标准发布，提出了一系列安全要求，适用于在植物环境中使用并按美国国家电气规范（NEC）和 ANSI/NFPA 70 安装的照明设备和种植系统。这套安全标准范围所涵盖的照明设备包括专用于或适用于优化植物生长的灯具、种植系统和配件。
UL 8800 要求与其他照明安全标准有一些显著差异。主要区别包括：

目标范围 – UL 1598 灯具标准的范围涵盖在固定位置接线以及一般照明用途设计的照明设备安全问题。相比之下，UL 8800 的范围具体涵盖专用于促进植物有效发育和生长的灯具和种植系统。

光生物学效应 – UL 8800 中的安全考虑因素，主要涉及人眼和皮肤暴露于植物照明系统广泛使用的光源技术时，可能导致的光生物学效应及潜在危害。UL 8800 光生物学安全要求与 IEC 62471 灯具及灯具系统光生物学安全标准保持一致，详细指导用户在可能遇到光输出暴露时，应采取哪些预防措施。

接线和连接方法 – 与安装在传统工业和商业环境下，在整个使用寿命期内始终保持固定的灯具不同，植物照明系统通常需要频繁升降或调整位置以优化植物发育。因此，UL 8800 允许使用特殊的接线和连接方法以实现必要的定位灵活性。

环境考虑因素 – 在室内植物生产中，一般环境条件可能有很大差异，但普遍存在高温高湿条件。根据 UL 8800 标准，评估植物照明系统对潮湿环境以及室温较高环境的适用性。获得 UL8800 认证的植物照明系统经评估可以打上相关特性的标识。

防护等级 – 在室内农业生产中使用的设备也更有可能进入灰尘、湿气和水，进而导致可靠性下降。UL 8800 通过防护等级（IP）测试消除这些风险，确定可防止固体颗粒和水进入设备的防护等级，与 IEC 60598-1 外壳防护等级要求保持一致。

聚合物材料的紫外线暴露 – 最后，在种植环境（例如温室）下，设备相关聚合物材料可能暴露于阳光中的紫外线。这种暴露可导致聚合物材料脆化，更容易碎裂。UL8800 有针对这些问题提出要求。

聚合物涂层 – 2021 年末，UL 8800 增补附录 SA，针对使用涂层，以此作为解决 LED 阵列电气和/或防火外壳功能问题的方法及不额外提供透镜。.

UL S 8000 植物照明性能规格

UL Solutions 植物照明认证计划涵盖照明制造商，他们同意最初先评估产品性能，然后再通过监督活动持续评估。在选择可满足植物照明需求的适当产品时，评估数据可供最终用户（种植者、规范机构和设计师等）参考。

利用积分球、移动光谱辐射计和变角光度计，我们提供一组特定于植物应用的检测报告（包括含有植物指标的传统光度测定），以及表示植物冠层处光强度的近场测量。

UL S 8000 植物照明性能认证包括：

- 制造商评估结果报告
- UL Product iQ® 可搜索数据库列名
- 增强版 UL 认证标志使用

UL S 8000 有助于规范机构和最终用户选择可满足具体需求的高质量植物 照明产品。

- 提高产品性能可信度并有助于确保一致性
- 使最终用户能够充满信心地制定购买决策
- 在市场中彰显产品差异化优势
- 允许制造商使用增强版 UL 认证标志

UL 营销声明验证

我们还提供 UL 营销声明验证服务，通过以科学为依据的客观评估，确认您的环境和营销声明准确无误，而我们值得信赖的良好声誉，也可以助力显著提高您的产品可信度和可靠性。

UL Solutions 提供可按品牌、公司名称、产品名称和声明的唯一标识符搜索的声明验证数据库，有助于您在竞争激烈的市场中彰显产品差异化优势。

其他灯具和照明系统标准：对植物照明的适用性

UL 8800 标准专门针对植物灯具和照明系统而制定，但涉及安全和效能的其他可用标准有可能适用于植物照明。以下简要概述其他标准和测试方法及其在对植物照明开展全面评估方面存在的局限性。

UL 1598 – UL 1598 广泛用于评估灯具安全问题，适用于安装在非危险场所并在固定位置硬接线的多种灯具。UL 1598 标准最初发布于 2000 年，后经多次修订，最新版（第五版）发布于 2021 年。全文超过 300 页的 UL 1598 标准涉及到采用多种照明技术（包括 LED 技术）的灯具相关机械和电气施工要求。然而，此项标准并未直接阐述特定于园艺照明的具体方面或要求。

IEC 62471 灯具及灯具系统光生物学安全标准 – 顾名思义，IEC 62471 标准涉及到灯具和照明系统（包括采用 LED 技术的灯具）的光生物学安全问题。IEC 62471 标准最初发布于 2006 年，以北美照明工程学会（IES）和国际照明委员会（CIE）前期工作成果为基础，定义因照明而产生的光辐射暴露极限和测量参数。此项标准不适用于北美地区一般 照明灯具，但其适用性对植物照明至关重要。

IES 标准和测试方法

IES 是一家广受认可的标准制定组织（SDO），发布各种适用于照明产品的标准、设计指南以及测试和计算指南。

与灯具和照明系统相关的三份 IES 文档及其对植物照明应用的限制，具体如下：

- **LM-79-19:** 针对适用于植物照明的光度测定，但遗漏一些会对原有性能产生影响的环境条件。即便如此，这仍是 标准测试方法，可用于实验室条件下逐个单位比较。
- **LM-80-21:** 在 2021 年发布的版本中，不是特别强调光通量，而是具体阐述辐射通量和光子通量。这些是与植物照明相关的更常用的指标。
- **TM-21-21:** 详细介绍一种确定 LED 预期使用寿命的方法。2021 版本还提到辐射和光子通量，而不是像先前版本 一样只涉及光通量。这对植物照明很有用，因为大多数指标都是以光子为基础。

ASABE 标准和测试方法

美国农业生物工程师学会（ASABE）也是一家广受认可的 SDO。ASABE 已发布三项针对植物用途的 LED 照明适用标准。这三项标准包括：

- **S640** 植物（光合生物）电磁辐射的数量和单位——量化表示照明度量以确定植物照明对植物生长的有效性。这是 ASABE 发布的系列标准中的第一项标准，用于建立植物生长指标的正确定义。
- **S642** 用于植物生长和发育的 LED 产品测量与测试建议方法——介绍用于测试植物照明 LED 性能规格的具体方法，以及如何测量植物对电磁辐射的反应。
- **EP653** 没有阳光照射的室内植物生长环境暖通空調（HVAC）——为开发和维护最适合室内植物生长环境的控制设备提供建议和指导。
- **ANSI/IES RP-45-21** 建议规范：植物照明——针对照明专业人士的可控环境下植物照明设计指南，重点关注建筑与植物照明设计之间差异。

DesignLights Consortium® 技术要求

DesignLights Consortium（DLC）是一家非营利组织，专注于改善照明产品能效。作为节能倡议的一部分，全美多家公用事业公司都为购买 DLC 合格灯具和照明设备提供补贴。目前，通过 UL 8800 标准认证是获得或保持 DLC 植物 合格产品名录（QPL）资格的安全要求。

UL Marks appear on
tens of billions
OF PRODUCTS GLOBALLY

UL Solutions 如何支持植物照明制造商

UL Solutions 采用综合方法评估特定于植物照明和种植系统的安全与性能问题。首先，我们根据 UL 8800 标准详细说明的要求开展全面的评估，解决电气和机械安全问题，并考虑适用于植物照明的光生物学安全注意事项。按照 UL 8800 要求认证的灯具和系统也符合 NEC 要求，并受电气检验及其他 规范监管机构认可。

如前所述，就植物生长而言，光照特性（例如光通量、光分布和光谱）对植物照明性能发挥重要作用。因为这些特性对每一种植物来说各不相同， 所以要知道照明系统的性能规格，这对选择最有利于特定植物生长的系统至关重要。在 UL Solutions 植物照明性能测试中，我们测定对植物生长不可或缺的关键光照特性，有助于确保种植者掌握正确的信息，使其能够为具体种植作业选择适当的照明系统。我们的植物照明性能测试报告符合 ASABE 测试方法要求，因此有助于取得满足 DLC 技术要求的资格认证。

对于照明制造商而言，UL Solutions’ 评估植物照明安全和性能问题的综合方法具有高效和成本效益优势，既可帮助他们符合适用法规，又能为现有和潜在客户提供最高透明度。对于种植者而言，UL Solutions 测试和认证既有助于确保植物 照明产品符合具体的种植要求，又能让他们对安全使用产品充满信心。

总结和结论

植物灯具和种植系统是可控环境农业发展不可或缺的技术。UL 8800 标准针对此类系统特有的安全和性能因素提供全面评估。

植物照明和种植系统评估需要一种综合方法，也就是在具体种植作业的安全性和适用性方面，可为制造商和组织者 提供帮助的方法。制造商按照 UL 8800 要求通过认证，即表示他们符合植物照明和种植系统的现行严格安全标准， 而 UL Solutions 性能测试服务则有助于选择最适合预期用途的植物照明产品。

有关 UL Solutions 植物灯具和种植系统测试与认证服务的详细信息，请发送电子邮件至 LightingInfo@UL.com 或访问 UL.com/HorticulturalLighting 联系我们的团队。

尾注

1. Statistics on global agricultural production and future population growth trends cited in this paragraph are taken from "The future of food and agriculture: Trends and challenges," a report by the Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2017. Web. 22 November 2018. http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf.

2. "The Food Effect: Where Will We Find Enough Food for 9 Billion People," an article and photo essay prepared by the National Geographic Society. Web. 22 November 2018. https://www.nationalgeographic.com/foodfeatures/feeding-9-billion/.

3. "Livestock and Landscapes," an infographic produced by the Food and Agricultural Organization of the United Nations. Web. 22 November 2018. http://www.fao.org/docrep/018/ar591e/ar591e.pdf.

4. Smart Greenhouse Market by Type (Hydroponics and Non-Hydroponics), Covering Material Type (Polyethylene, Polycarbonate, and Others), Offering (Hardware and Software & Services), Component, Cultivation, End User, Region - Global Forecast to 2025. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-greenhouse-market-63166169.html

5. "Opportunities in Controlled Environment Agriculture," a report by the Food Institute at The George Washington University. May 2018. Web. 22 November 2018.

UL Solutions

© 2022 UL LLC 保留所有权利
AHL22CS678070_3CN