

# 团 体 技 术 报 告

T/CSA/TR 012-2023

---

## LED 光照的蚊虫诱灭应用技术报告

Technical report on mosquito trapping and killing with LED light

版本：V01.00

2023-07-17 发布

2023-07-17 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 概述 .....	1
2 蚊虫的生理及危害.....	1
2.1 概要.....	1
2.2 蚊虫的生理概述.....	1
3 公共卫生中蚊虫的防控要求及方法.....	4
3.1 公共卫生蚊虫防控要求.....	4
3.2 蚊虫防控方法.....	5
4 蚊虫趋光性研究.....	7
4.1 昆虫趋光性机理.....	7
4.2 光源演进.....	8
4.3 蚊虫对不同光谱 LED 光源的趋性反应.....	8
4.4 对室内、室外诱蚊 LED 波长选择建议的要求.....	9
5 蚊虫诱灭效果评价方法.....	10
6 蚊虫 LED 诱灭应用场景分析.....	10
6.1 室内 LED 诱/灭蚊灯应用场景.....	10
6.2 室外 LED 诱/灭蚊灯应用场景.....	11
7 标准化工作问题与建议.....	11
7.1 标准化工作相关问题.....	11
7.2 标准化工作建议.....	11
参考文献.....	13

## 前 言

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：宁波大央科技有限公司、晶能光电股份有限公司、中国科学院半导体研究所、佛山电器照明股份有限公司、宁波升谱光电股份有限公司、中国计量大学。

本文件主要起草人：郑军、宁源爱、徐旭、王琼、杨华、罗伟民、牛宏强、陈华才。

华南农业大学王德森副教授、中国科学院动物研究所苏建伟研究员、中国科学院宁波材料技术与工程研究所葛子义研究员及李伟副研究员、浙江小正科技有限公司吕玲玲总经理、浙江清驰智控科技有限公司季云深总监为本文件的撰写提供了大量支持，在此一并表示感谢。

# LED 光照的蚊虫诱灭应用技术报告

## 1 概述

蚊虫是一类人类生活环境中常见的世界性卫生害虫，属于昆虫纲，双翅目，蚊科。蚊虫种类繁多，遍布世界各大动物区系，除南极洲外各大陆皆有分布。蚊虫在我国也被归为四害之一，其中雌蚊以动物血液为食，是疟疾、登革热、黄热病、丝虫病、乙型脑炎等多种疾病的传染媒介。

随着杀虫剂的大量使用，其弊端已逐步显现：害虫繁殖速度快，对杀虫剂极易产生抗性，且化学药剂的使用对环境造成了严重的污染。为此人们开始寻求新型的无药化防控技术来解决虫害问题，其中利用害虫的趋光性来防治害虫就是这方面的重要探索。最早用于引诱害虫的是黑光灯，后来随着研究的深入，逐渐出现了一些新型的诱虫灯，如高压钠灯和 LED 灯等，这些新型诱虫灯较好地利用了害虫的正趋光性。

其中 LED 诱/灭蚊灯作为重要的病媒监测、防治工具，应用范围越来越广泛。LED 是第四代半导体照明材料，其光谱窄、光色纯，更利于利用特定光谱准确地锁定靶标害虫，避免滥杀，最大限度地发挥生态调控功能。而且，该类灯具有功耗低、寿命长等优点，在害虫的生态调控领域将得到广泛的应用。

本文件针对 LED 对蚊虫的诱趋效应，分析了蚊虫的生理及危害、公共卫生防控要求和方法、蚊虫趋光性研究，阐述目前蚊虫诱灭效果评价方法和应用场景，提出了下一步标准化工作的建议。

## 2 蚊虫的生理及危害

### 2.1 概要

蚊虫属于昆虫纲、双翅目、蚊科。小型昆虫，体长 0.5 cm~1.5 cm 间，触角细长。口器形成一长喙，雌蚊的喙一般适于刺吸血液。翅脉特殊，即前缘脉环绕全翅，第 4 纵脉（中脉）二分支；翅脉和翅缘都有鳞片。蚊虫是与人们生活与健康关系密切的卫生害虫，也是“四害”之一，具有种类多、分布广、繁殖快的特点<sup>[1]</sup>。一方面，它们通过叮咬、骚扰等方式影响人们的生活；另一方面，它们是一类重要的传播疾病的媒介生物，能够传播包括登革热、疟疾、伤寒、鼠疫、丝虫病等在内的多种疾病，是目前世界上严重威胁人们生命健康的因素之一<sup>[2-3]</sup>。目前世界上已记载有 37 属 119 亚属 3 500 余种蚊虫及其亚种，常见的有库蚊属、按蚊属和伊蚊属<sup>[4]</sup>。

### 2.2 蚊虫的生理概述

#### 2.2.1 蚊虫的分类

按蚊(*Anopheles*)、库蚊(*Culex*)及伊蚊(*Aedes*)3个属的形态特征见表1。目前,需要重点防治的蚊类有中华按蚊(*Anopheles sinensis*)、雷氏按蚊(*Anopheles lesteri*)、大劣按蚊(*Anopheles dirus*)、微小按蚊(*Anopheles minimus*)、淡色库蚊(*Culex pipiens pallens*)、致倦库蚊(*Culex quinquefasciatus*)、三带喙库蚊(*Culex tritaeniorhynchus*)、白纹伊蚊(*Aedes albopictus*)、埃及伊蚊(*Aedes aegypti*)等<sup>[5]</sup>。

表1 不同属蚊虫形态特征

特征		按蚊属	库蚊属	伊蚊属
成蚊	翅	有黑白斑点	一般无斑点	无斑点
	触角	雄蚊的比喙还长,末端呈棒状,雌蚊的与喙等长	雄蚊的与喙等长或更长,末端尖细,雌蚊的甚短,仅喙的1/6-1/4	与库蚊同
	体色	大半为灰色,无斑	大半为棕黄色或棕褐色	大半为黑色,间有白斑或纹
	停留时的姿态	身体与喙成一直线,与停留,面成一角度	喙与腹部成一角度,身体与停留面平等	与库蚊同
	吸血	多在夜间	多在夜间	多在日间
卵	形状与排列	散开,浮于水面,呈船形,两侧有浮器	聚集成筏,浮于水面,单个卵呈圆锥形	单个,常沉于水底,呈橄榄形
幼虫	呼吸管	无,但有一对呼吸孔	细而长	粗而短
	腹背棕状毛	有	无	无
	静态	身体与水面平行	尾近水面,头下垂,身体与水面成一斜角	与库蚊同
	孳生地	多在清水中,如池塘、稻田、小溪等	多在污水及野外清水中,如污水坑、缸、池塘等	与库蚊同
蛹	粗,短而口阔	粗,短而口阔	细长而口小	与库蚊同

## 2.2.2 蚊虫的生态习性

### 2.2.2.1 蚊虫的生长周期

蚊虫的一生经过成蚊-卵-幼虫-蛹四个时期,属于完全变态发育。幼虫和蛹生活在水中,成蚊生活脱离水环境。

蚊虫属完全变态,生活史中有卵、幼虫、蛹和成虫四个虫态。前三个虫态生活于水中、成蚊生活于陆地。雌、雄蚊虫经交配、雌蚊吸血后产卵,所产受精卵的形态、产卵方式、场所以及数目因种而异。按蚊卵舟形,单个产于大型清洁水体、浮于水面;库蚊卵圆锥形产于污水水体、集成卵块飘浮水面;伊蚊卵橄榄形,单个产于小型清洁积水、下沉水底;少数种类的卵粘集在水生植物叶面下。多数种类产出的卵胚胎发育成熟即孵化出幼虫,卵的发育期视蚊种和水温而异。通常夏季2天即可孵出幼虫,但有些按蚊卵在低温、潮湿条件下,可10多天以至1个月不孵化,而伊蚊卵抗旱耐冷,可渡过旱季或越冬。

幼虫以滤食经4次蜕皮后而化蛹。蚊蛹不食,常浮于水面或潜入水中。夏天蛹常经2~3天便从背部裂开,羽化为成蚊。蚊虫羽化后1~2天,常在未吸血前交配。一般情况下,

雌蚊只有吸血才能产卵、繁殖后代。从雌蚊产卵到发育为成蚊，完成生活史所需时间，因蚊种、温度食物等生活条件不同而异。在夏季，淡色库蚊在 23℃~26℃下约 2~3 周；中华按蚊在 28℃~30℃约需 2 周；白纹伊蚊在 28℃下约 2 周。在适宜条件下蚊虫 1 年可繁殖 7~8 代<sup>[5-6]</sup>。

### 2.2.2.2 蚊虫的孳生栖息场所

蚊虫幼虫都生活在水体中。不同的水质孳生不同的蚊种。雌蚊产卵时候，对积水有一定的选择性。根据防治角度出发，可以将媒介蚊虫分为 5 类<sup>[5]</sup>：

- a) 中华按蚊、嗜人按蚊、三带咏库蚊属：稻田型主要孳生在稻田、沼泽等大型积水中；
- b) 微小按蚊属：缓流型主要孳生在小溪、沟渠等缓流中；
- c) 大劣按蚊属：丛林型主要孳生在丛林浓荫的石穴等小型积水中；
- d) 致倦库蚊和淡色库蚊属：污水型主要孳生在污染的容器或小型积水中；
- e) 白纹伊蚊、埃及伊蚊属：容器型主要孳生在家庭容器或和植物容器积水中。

成蚊栖息场所，因蚊种和环境不同，一般分为三类：

- a) 家栖型白天多栖息在房间、畜舍的隐蔽处。吸血后仍停留在室内，待胃血消化、卵巢成熟后，飞至室外寻找合适的产卵场所。如淡色库蚊、致倦库蚊；
- b) 半家栖型蚊种兼有内外栖息的习性，吸血后随即或稍在室内停留，飞出室外栖息。如嗜人按蚊、三带缘库蚊；
- c) 野栖型吸血和产卵都在野外，如白纹伊蚊。但是这种分类也并非绝对的，即使同一种蚊虫，也会随着季节、地区或环境的不同，其栖息类型也会改变。如微小按蚊是公认的家栖型蚊种，但是在台湾省和海南省的一些无人居住的山地森林曾发现该蚊种，而在广西、云南、贵州等地为半家栖。

### 2.2.3 蚊媒病流行现状

蚊媒控制是公共卫生领域重要的工作内容。每年因蚊虫叮咬而死于蚊传播疾病的人数大约有 830 万人，是所有动物中导致人类死亡的头号杀手。研究发现，蚊虫携带的病毒有 530 余种，其中 100 余种可致病。近年来，在我国蚊体内发现的病毒有盖塔病毒 (Getah virus, GETV)、基孔肯雅病毒 (Chikungunya virus, CHIK)、辛德毕斯病毒 (Sindbis virus, SINV)、辽宁病毒 (Liaoning virus, LNV)、西方马脑炎病毒 (Western equine encephalitis virus, WEEV)、罗斯河病毒 (Ross river virus, RRV)、甲属披膜病毒、巴泰病毒 (Batai virus, BATV)、版纳病毒 (Banna virus, BAV)、Kadipiro 病毒 (KDV)、云南环状病毒 (Yunnan ring virus)、Colti 病毒、浓核症病毒 (Desonucleosis virus, DNV) 等。蚊虫传播的主要疾病为疟疾、登革热、寨卡病毒病、黄热病、流行性乙型脑炎和丝虫病等多种疾病<sup>[8-9]</sup>。

疟疾，是一种由疟蚊传播的一种疾病，人们由于被疟蚊叮咬后会感染此病，主要临床症状表现为阵发性寒战、高热、出汗及脾大、喷血等<sup>[10-11]</sup>。全球人类的主要死因之一就是由疟疾引起的。婴幼儿是疟疾的主要寄生体<sup>[11]</sup>。上世纪 30 年代世界卫生组织调查表明，在全球疟疾流行的地区，一半居民的血液中含有疟原虫，这些居民中有 72% 患有恶性疟疾。2013 年全球约有 1.98 亿疟疾患者，死亡 58.4 万人<sup>[11-12]</sup>。

登革热,这是一种主要由埃及伊蚊或白纹伊蚊进行传播登革病毒所引起的呈地方性流行的急性传染病<sup>[13]</sup>。感染登革热的患者会出现高热、剧烈阵痛、肌肉及骨关节痛、出血休克、血小板减少、血液浓缩等症状,感染严重则会死亡<sup>[14]</sup>。我国在1978~2010年期间,共报告登革热734 637例,死亡541例<sup>[15-16]</sup>。2016年年初到9月新加坡感染登革热人数达到1.13万之多。

流行性乙型脑炎,是一种通过蚊虫传播的人畜共患的急性病毒性传染病,死亡率较高,主要通过三带喙库蚊进行传播<sup>[17]</sup>。该病毒会损害患者的中枢神经系统,还会出现高热、警觉、昏迷等症状,严重则会痉挛性瘫痪甚至死亡<sup>[18]</sup>。20世纪50年代发病率高达20/100 000,21世纪后发病率得到了有效的控制,基本控制在1/100 000以下,并呈现持续下降的趋势<sup>[19-20]</sup>。

黄热病是黄热病病毒所引起的急性传染病,经伊蚊传播。主要流行于非洲和中南美洲,临床特征有发热、寒战、头痛、出血、蛋白尿。

丝虫病,是由班氏丝虫或者马来丝虫在人体寄生所引起<sup>[21]</sup>。丝虫病的主要传染源是血液内部含有微丝蚴的人,班氏丝虫病病毒主要是由库蚊进行传播,马来丝虫病病毒主要是通过按蚊进行传播<sup>[22]</sup>。在防治前,我国丝虫病患者多达3 099.4万,其中班氏丝虫病患者有2 196.2万,马来丝虫病患者有903.2万<sup>[23]</sup>。

寨卡病毒,主要通过伊蚊进行传播。其临床症状表现为发热、斑丘疹、关节痛、非化脓性的结膜炎等。查阅资料我们发现,文件中首次记载的寨卡病毒病在2007年暴发于西太平洋密克罗尼西亚群岛,发病185例。法属波利尼西亚从2013年10月起暴发寨卡病毒,感染者上万。2015年5月,巴西发现首例本地感染病例,其后疫情持续发酵并爆发大规模疫情<sup>[24]</sup>。特别地,孕妇感染此病毒后有一定几率会出现婴儿小只畸形症等先天缺陷<sup>[25]</sup>。

### 3 公共卫生中蚊虫的防控要求及方法

#### 3.1 公共卫生蚊虫防控要求

《“健康中国2030”规划纲要》,对今后十五年我国健康事业发展指明了方向。第三篇-第七章-第一节防治重大疾病:加强重大传染病防控;第五篇-第十三章-第二节:病媒生物控制水平是健康城市和健康村镇的重要指标。规划纲要凸显了蚊虫等媒介生物的监测和防控的重要性,有效应对流感、手足口病、登革热、麻疹等重点传染病疫情。继续坚持以传染源控制为主的血吸虫病综合防治策略。继续巩固全国消除疟疾成果。强化重大动物源性传染病的源头治理。

当前蚊媒防治提倡的是综合防制策略,包括环境防制、化学防制、生物防制、物理防制、遗传防制、法规防制及其它方法。其中,环境防制是通过环境的治理从根本上消除蚊虫孳生的环境;化学防制是通过化学杀虫剂的使用达到消除蚊虫的目的;生物防制则是通过使用生物杀虫剂或蚊虫天敌的应用来控制蚊虫密度;物理防制是应用蚊帐、电灭蚊拍、诱蚊灯等物理方法灭蚊防蚊;遗传防制是通过改变蚊虫遗传特性降低蚊虫密度;法规防制是通过制定一系列的规章制度、多部门联合行动控制蚊虫的策略;其它防制措施则包括健康教育等方法减少蚊虫的危害。在蚊虫防制具体实施中,关键的问题是如何科学地选择实施蚊虫防制方法,

达到理想的防蚊灭蚊效果。

## 3.2 蚊虫防控方法

### 3.2.1 环境治理

通过环境治理减少蚊虫孳生环境对蚊虫防制非常重要。我国人口众多，群众对于防蚊灭蚊的重要和相关科普知识认识还不足，应推广健康教育和科普宣传，除做好个人防护外，还应消除生活中蚊虫孳生的环境。如泡菜坛沿的存水定期更换或加盐或覆盖处理、花盆垫盘的积水问题、废弃瓶罐的积水问题、橡胶林内割橡胶用碗在闲置期的积水问题、小型无用水体的填埋等。环境治理不仅是相关职能部门的事情，还应发动群众，全民参与，才能收到理想效果。

### 3.2.2 化学防制

化学杀虫剂使用方便，起效快，作用强且持久，特别是在疾病流行时应用化学杀虫剂可起到迅速灭蚊，控制疾病传播蔓延的作用。目前化学杀虫剂的使用仍然是蚊虫防制工作中的主要措施，除了传统意义上的四代杀虫剂（有机氯类、有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类）外，有机氟类杀虫剂、烟酰亚胺类杀虫剂、吡咯类杀虫剂及三噁双环辛烷类杀虫剂、昆虫生长调节剂、昆虫不育剂、昆虫引诱剂、植物源性杀虫剂（如烟碱、印楝素等）以及按天然物质的化学结构或类似衍生结构人工合成的杀虫剂等也受到了广泛的关注，提高了化学防制的效果。新型防疫车、摩托式和无人机式的药物喷洒装备等的应用大大提高了化学杀虫剂的喷洒效率，并解决了特殊环境下的药物喷洒难题。然而，由于化学杀虫剂的长期泛滥使用，导致蚊虫对化学杀虫剂的耐药性日益严重和广泛<sup>[26]</sup>，加之化学杀虫剂对人畜的有害性和对环境的污染滞留，人们不得不思考新的杀虫策略。

### 3.2.3 生物防制

生物防制即直接或间接应用产生或不产生代谢物的天敌，防治包括人类疾病媒介在内的有害生物，目前用于蚊媒生物防治的主要有病原体（细菌、真菌、病毒等）和捕食物。由于生物防制具有较多优点，如作用特异性强，对非目标生物和有益生物无害，不污染环境，不易产生抗性，某些生物防制物可自身再循环，具有较长的持效期，可节约大量的人力物力，因此逐渐受到人们的重视，蚊虫的生物防制策略得到了越来越多的关注。

生物防制包括生物杀虫剂的使用和蚊虫天敌的合理应用。应用最为广泛的生物杀虫剂是苏云金杆菌（Bti）和球形芽孢杆菌（Bs），美国生物杀虫剂的应用已占到 50% 的市场份额，我国生物杀虫剂的应用还相对较少，但近几年来也呈逐渐增多的趋势。美国和印度等相关科研机构正在利用缓释技术研发长效生物杀虫剂，可提高生物杀虫剂的灭蚊效果和延长其持效时间。

蚊虫天敌的应用包括线虫（如食蚊罗索线虫）、鱼类、昆虫（如龙虱、松藻虫、蜻蜓、巨蚊、涡虫等）、家鸭、青虾、除蚊植物等。最新的研究发现，通过转基因技术让真菌携带毒性基因，该真菌可有效杀灭蚊虫从而降低蚊虫密度<sup>[27]</sup>。

### 3.2.4 蚊媒改造

目前,对于蚊媒改造主要聚焦在转基因蚊研究、蚊虫天然免疫机制研究、阻断性疫苗的研制、蚊肠道菌群的研究等四个热点领域。

在转基因蚊的研究方面,可利用昆虫不育技术(sterile insect technique, SIT)使转基因雄蚊与野生雌蚊交配后只产生雄性后代,或通过导入外源基因提高蚊虫抗病原体的能力(如表达抗菌肽、抗病原体因子等)从而降低蚊的传病能力<sup>[28-29]</sup>。

在蚊天然免疫机制研究方面发现,蚊可通过 Toll、IMD、JAK/STAT 和 JNK 等信号通路及黑化机制等抑制相关病原体在蚊体内的发育<sup>[30-33]</sup>;而理解蚊抗病原体天然免疫机制则有助于研发通过改变蚊虫对病原体的免疫能力达到传播阻断的效果。

在阻断性疫苗的研制方面,可通过免疫接种疫苗的方式使人或家畜等产生针对蚊消化酶(如胰蛋白酶)或病原体在蚊体内的某一发育阶段的抗体,在蚊虫叮咬吸血后,此类抗体可分别阻断蚊虫的消化酶从而影响蚊虫的营养吸收和抑制病原体在蚊体内的发育,达到灭蚊效果和阻断疾病传播的效果。

在蚊肠道菌群研究方面,通过高通量测序技术掌握蚊肠道内的菌群组成,进而利用共生菌表达阻断相关病原体发育的蛋白从而降低蚊的传病能力,或者通过喂饲 Wolbachia 等细菌阻断某些疾病的传播<sup>[34]</sup>。

### 3.2.5 法规防制

我国在法规防制方面体系健全,工作落实到位,在蚊及蚊传疾病的防控方面发挥了重要作用。目前,已形成了卫生健康委员会、疾病预防控制中心、医疗机构等多部门参与的联动机制,出台了爱国卫生运动、创建卫生城市及相关一系列的法规标准等。疟疾等传染病的网络直报系统提高了相关疾病的监测效率和数据的真实性。

《中华人民共和国传染病防治法》第九章规定,各级政府应开展预防性消除鼠害与蚊、蝇等媒介的危害。2005年我国建立了覆盖19个省43个市的病媒生物监测网络,已形成从监测、预警、防制到管理的完整体系。2006年成立卫生部病媒生物控制标准专业委员会后,全国爱卫办指导标委会发布了44项相关标准。2009年卫生部和全国爱卫办发布《关于印发〈病媒生物预防控制管理规定〉的通知》,是我国第一部病媒生物防制相关规定,各省也分别以条例、部门规章等形式对病媒生物控制管理加以规定,科学规范了病媒生物预防控制管理工作,促进了病媒生物防制法制化、标准化发展。各级爱卫会为有效控制病媒生物孳生,预防和减少病媒传播疾病的发生和流行,也将除“四害”达标情况纳入当地卫生创建考核内容,并定期组织开展季节性除“四害”活动。近年来,病媒生物防制以创建国家卫生城市和国家卫生县城(乡镇)为抓手,在政府主导、动员群众积极参与的基础上,积极发展病媒专业化防制产业,做到专业队伍与社会化队伍相结合,采取政府购买服务,通过市场化运作,专业服务队伍(PCO)参与,目前有近6000家专业服务提供商,推动了病媒防制产业化发展。

### 3.2.6 物理防制

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/105140033044011113>