

团 体 技 术 报 告

T/CSA/TR 010-2021

# 紫外 LED 杀菌消毒技术报告

Technical report on ultraviolet LED sterilization and disinfection technology

版本: V01.00

2021-04-23 发布

2021 - 04 - 23 实施

## 目 次

前	言.		Ι
引	言.	1	Ι
1	背景	<u>.</u>	1
	1.1	紫外线消毒概述	1
	1.2	微生物与病原微生物	1
	1.3	传统紫外光源与紫外 LED	1
2	UVC	紫外线杀菌消毒	2
		紫外线灭活原理	
	2.2	暗/光复活机制	3
	2.3	不同辐照度下的 UV 失活效应	4
	2.4	254nm 紫外光辐照下不同微生物的 UV 失活效应	5
	2.5	不同光谱下的 UV 失活效应	6
		UW/蓝光杀灭真菌的补充说明	
3		卜消毒杀菌产品参数分析	
		概述	
		水净化产品及评价参数	
		空气净化产品及评价参数1	
		表面消毒杀菌需求分析1	
4	紫夘	ト LED 杀菌场景需求分析 1	13
		医疗场所消毒/灭菌需求分析1	
		公共场所消毒杀菌需求分析1	
		居室环境消毒杀菌需求分析1	
		城市用水净化需求分析1	
		设施农业杀菌需求分析1	
	4.6	食品微生物杀菌需求分析1	8
5	紫夕	卜线的防护和抗老化研究2	21
	5. 1	人体防护2	21
	5. 2	物品抗老化2	28
6	紫夘	トLED 杀菌消毒发展问题与建议3	31
	6. 1	关键技术问题分析	31
		产业发展建议	
参	考文	で献	34

## 前 言

本文件由国家半导体照明工程研发及产业联盟(CSA)制定发布,版权归 CSA 所有, 未经 CSA 许可不得随意复制;其它机构采用本文件内容制定标准需经 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编号。

到本文件正式发布为止, CSAS 未收到任何有关本文件涉及专利的报告。CSAS 不负责确认本文件的某些内容是否还存在涉及专利的可能性。

本文件主要起草单位:中国科学院半导体研究所、晶能光电(江西)有限公司、佛山市国星光电股份有限公司、厦门光莆电子股份有限公司、山西中科潞安半导体技术研究院有限公司、中国电子科技集团公司第十三研究所、山西智兴华科半导体科技有限公司、佛山市南海区中科半导体技术创新中心、中关村半导体照明联合创新重点实验室。

本文件主要起草人: 王军喜、李俊杰、李玉容、林瑞梅、贾和平、刘东月、易正广、 颜灿强、魏学成、封波、麦家儿、林国彪、徐浩、高伟。

北京市理化分析测试中心安云鹤副研究员、中国计量科学研究院王彦飞副研究员、中国科学院生态环境研究中心李梦凯副研究员为本文件的撰写提供了大量支持,在此一并表示感谢。

## 引 言

相对于传统紫外汞灯,紫外 LED 具有节能环保、寿命长、开启速度快、辐射强度可控、 光谱可定制等优势,随着辐射效率不断提高,特别是在杀菌消毒效果良好的 260nm~280nm 波段中,外量子效率研发水平达到了 10%,产业化达到了 3%,已经可以满足杀菌消毒的基 本应用要求。

为探讨紫外 LED 在杀菌消毒中的应用,本文件梳理了紫外线消毒的原理,对比传统紫外汞灯,分析了紫外 LED 对微生物的灭活影响,阐述了不同产品、不同应用场合的技术要求,列举了人体、物品对紫外线防护涉及到的相关标准文件,简要提出了紫外 LED 杀菌消毒技术与产业发展的问题与建议。



## 紫外 LED 杀菌消毒技术报告

#### 1 背景

#### 1.1 紫外线消毒概述

当紫外线照射到微生物时,会被细胞中的成分吸收,但是只有蛋白质、核苷酸(DNA、RNA组成部分)等干物质会强烈吸收紫外线。在高剂量紫外线照射下,蛋白质吸收紫外线,最终导致细胞膜破裂、细胞死亡;然而在低剂量下,DNA(某些病毒是RNA)吸收UVC紫外线光子,会失去复制能力。这种"失活"并不是新陈代谢的"死亡",而是失去了繁殖能力,不能引起感染。

紫外线被广泛应用于表面、空气、水消毒。国家卫生部发布的《消毒技术规范》(2002) 指出,"紫外线可以杀灭各种微生物,包括细菌繁殖体、芽孢、分支杆菌、病毒、真菌、立 克次体和支原体等,凡被上述微生物污染的表面、水和空气均可采用紫外线消毒"。

2019 年底始,新发急性呼吸道传染病"新型冠状病毒肺炎(新冠肺炎,COVID-19)"逐步成为全球性重大的公共卫生事件。COVID-19 的出现使得社会各方聚焦于病毒的防范与治疗,其中 2020 年 1 月 27 日国家卫健委印发的《新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第四版)》指出"病毒对紫外线和热敏感"。这带来了民众对 UVC LED 的高度关注,因紫外线的安全隐忧、目前 UVC LED 辐射效率低等因素,使得产业认知逐步归于理性;但是,后疫情时代对于公共卫生的关注带动了 UVC LED 相对刚性的市场需求。

#### 1.2 微生物与病原微生物

微生物通常指一切不借助显微镜用肉眼看不见的微小生物。这类微生物包含病毒、亚病毒(类病毒、拟病毒、朊病毒)、具原核细胞结构的真细菌、古菌以及具真核细胞结构的真菌(酵母、霉菌、蕈菌等)、原生动物和单细胞藻类。但有些例外,如许多真菌的子实体(蘑菇)等常常肉眼亦可见。一般来讲,微生物可以认为是相当简单的生物,大多数的细菌、原生动物、某些藻类和真菌是单细胞的微生物,即使为多细胞的微生物,也没有许多的细胞类型。病毒甚至没有细胞结构,只有蛋白质外壳包围着的遗传物质,且不能独立存活。

微生物具有体积小、比表面积大、繁殖快、种类繁多、适应性强、易变异等特点。在正常的环境下,微生物与人类处于一个相对平衡的系统,很多微生物是对人非常有益的。但一些微生物能引起人及动、植物的病害,称为病原微生物(约占微生物的 1%),部分病原微生物在历史上曾给人类造成重大的灾难。如 1346~1850 年由鼠疫杆菌引起的瘟疫几乎摧毁了整个欧洲,有近 1/3 的人(约 2500 万人)死于这场灾难。许多疾病(如肺结核、疟疾、霍乱、军团病、埃博拉病毒病、严重急性呼吸综合征 SARS 等)对人的卫生安全提出新的要求,特别是 2019~2020 年新冠病毒事件对全球公共卫生防控的带来新的挑战。

#### 1.3 传统紫外光源与紫外 LED

国际照明委员会(CIE)将紫外辐射划分为 UVA (315 nm ~ 400 nm)、UVB (280

nm  $\sim 315$  nm) 和 UVC(100 nm  $\sim 280$  nm)三个波段。其中,100 nm  $\sim 200$  nm 的紫 外辐射在空气中被强烈吸收,形成臭氧,因此,UVC 波段往往被理解成 200 nm  $\sim 280$  nm 波长范围。传统紫外光源均为气体放电灯,主要分 3 种,汞/金属卤化物灯、氙气灯和氘灯,其主要特点如表 1 所示。

分类	汞/金属	卤化物	氙气灯	氘灯	
万矢	低压	中/高压	Ш( <b>(</b> Д)	)I(X)	
	消毒/净化	消毒/浄化、UV 固化	分析仪器		
特征应用			Xenon Heraeus		
光谱	相 0.4 粉 0.3	相 0.4 対 0.2 出 0.2 光 0.1 功 0 200 300 400 500 600 車 200 300 400 500 600	185nm-700nm to 185nm-2200nm	150nm-600nm	
输入	- 100	100 1000		20. 200	
功率 W	5 ~ 100	100 ~ 60 000	150 ~ 50 000	30 ~ 200	
辐射	15% ~ 45%	(200/ 巫枌)	30%左右	30%左右	
效率	15% ~ 45%	(30% \(\frac{1}{2}\))	30% 左右	30% 左右	
寿命 h	2 000 ~	10 000	2 000	2 000	

表 1 传统紫外光源对比

2014年,诺贝尔物理学奖授予了发明蓝色发光二极管(LED)的三位科学家,将 LED 推向大众视野;作为一场成功的技术革命, LED 已确立了照明产业变革中的主导地位;在紫外波段,因近年来宽禁带半导体材料科学技术的快速进步,紫外 LED 用于杀菌消毒的应用市场正在逐步开启。

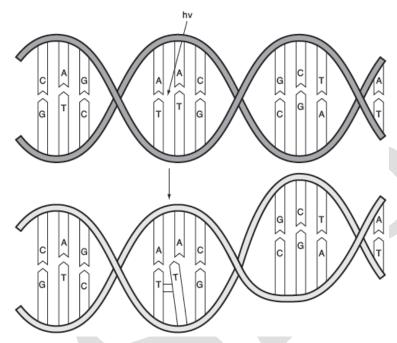
#### 2 UVC 紫外线杀菌消毒

#### 2.1 紫外线灭活原理

DNA 是生命的基本结构单位,是核苷酸在双链螺旋中的聚合物,由构成遗传密码的四个组成碱基(A 腺嘌呤、C 胞嘧啶、G 鸟嘌呤和 T 胸腺嘧啶)序列连接。碱基通过氢键形成两组碱基对,即 A 腺嘌呤与 T 胸腺嘧啶,C 胞嘧啶与 G 鸟嘌呤,将 DNA 双链结合起来。RNA 存在于生物细胞以及部分病毒、类病毒中的遗传信息载体,含有四种核苷酸: A 腺嘌呤、C 胞嘧啶和 G 鸟嘌呤,U 尿嘧啶取代 T 胸腺嘧啶。大多数细菌和原生动物的细胞核中都含有 DNA。病毒是亚细胞实体,只能通过感染特定的宿主细胞来繁殖,由带蛋白质外壳的 DNA 或 RNA 核苷酸螺旋组成。病毒中的 DNA 或 RNA 可以是单链或双链的。

DNA 或 RNA 中的所有核苷酸吸收 200 nm~300 nm 的紫外线。在 DNA 中的四个必需核苷酸中,胸腺嘧啶有一种独特的光化学反应,即如果两个 T 胸腺嘧啶碱基彼此相邻,其中

一个T胸腺嘧啶吸收紫外光子会导致两个T胸腺嘧啶分子之间形成化学键,称为T二聚体,如图1所示。C胞嘧啶也可以形成二聚体,然而数量远低于T胸腺嘧啶。对于只含有RNA的病毒,两个U尿嘧啶碱基之间会发生类似的光化学二聚反应。T二聚体(和其他类似的二聚体)的形成破坏了DNA的结构,因此,如果形成一定数量的二聚体,DNA就不能复制(Bolton J R and Cotton, 2008)。(Oguma, Katayama, & Ohgaki, 2002)研究显示,大约100个T二聚体足以使整个DNA链失活。DNA链失活导致病毒无法进行复制,进而防止了病毒对于宿主细胞的感染,该过程是紫外线消毒的基本机制。



注: A=腺嘌呤, C=胞嘧啶, G=鸟嘌呤, T=胸腺嘧啶

图 1 双链 DNA 中 T 二聚体形成示意图

#### 2.2 暗/光复活机制

一些微生物(特别是细菌)在复制的过程中,具有修复或绕过 DNA 链中 T 二聚体损伤的机制。有些病毒可通过使用宿主的复活酶来复活。这些复活机制分为暗复活机制、光复活机制(近紫外和短波可见光激活)。

大多数细菌在黑暗中都有一定的复活潜力。微生物黑暗中修复损伤的机制多种多样。

- a) 紫外线损伤核苷酸的替换,这种情况下,T 二聚体和相邻核苷酸序列从 DNA 中移除,重新合成序列;
- b) 复制 DNA 分子时不包含受损部分,因为 DNA 分子的完整信息完全存在于每一条链中,一条受损,另一条也能发挥作用。

光复活也称为光致酶促修复,这一机制是最普遍的再活化机制,即一种特别的光激活酶, 光化酶(photolase)分解 T 二聚体,恢复 DNA 的原始结构。如果要克服这种光复活机制,需 要提高紫外线消毒剂量。在完全遮盖的水处理系统中,不需要考虑,但如果水存储在开放的 水库中,需要考虑光复活机制,因饮用水很少暴露在阳光中,光复活很少发生。

#### 2.3 不同辐照度下的 UV 失活效应

不同的微生物对紫外线的敏感程度各有不同,微生物敏感程度可以由消毒效果  $\log(N/N_0)$  对数值与紫外辐射剂量的梯度关系决定,可以采用紫外辐射剂量反馈曲线进行直观表示(见图 2),其中 X 轴为紫外辐射剂量,Y 轴为消毒效果  $\log(N/N_0)$  对数值, $N_0$ 表示为消毒前的菌落数量,N表示为消毒后的菌落数量。

以枯草芽孢杆菌为例,紫外辐射剂量对于消毒效果的影响通常可以分为 3 个阶段,第一个阶段是肩部阶段(shoulder phase),在这个阶段消毒效果  $\log(N/N_0)$  对数值仅随开始的紫外线剂量缓慢下降,这个阶段与 DNA 修复机制相关;随后是半对数阶段(semilog phase), $\log(N/N_0)$  对数值随紫外线剂量增加线性下降,消毒效果显著提升;最后是尾部阶段(tailing phase), $\log(N/N_0)$  对数值随紫外线剂量的增加下降缓慢,趋于饱和,这个饱和的产生和具有紫外线抗性的微生物亚群相关,导致消毒效果减缓。

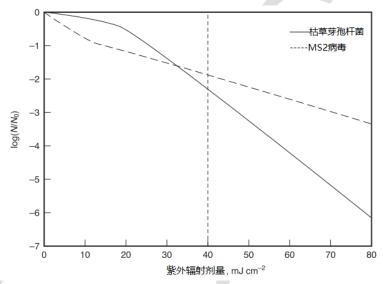


图 2 紫外辐射剂量反馈曲线

目前已经存在多种数学模型用于解释说明紫外辐射剂量反馈曲线,其中 Severin 与 Geeraerd 等人提出的 UV 失活动力学数学模型分别针对曲线的肩部阶段(shoulder phase)、半对数阶段(semilog phase)以及尾部阶段(tailing phase)进行了更精确的解释。

#### a) Severin 模型

(Severin, Suidan, & Engelbrecht, 1983)提出了不同波长下,每种微生物的 UV 失活动力学的多目标模型,如公式(1)所示:

$$\frac{N_t}{N_0} = 1 - (1 - 10^{-kF})^{n_c} \dots (1)$$

其中, $N_0$ 和  $N_t$ 分别是在时间 0 和 t 时的微生物浓度(CFU 或 PFU/mL),k 是失活速率常数(cm²/mJ),F 是在辐照时间 t 时的紫外线剂量, $n_c$  是需要失活的关键微生物种类。k 和  $n_c$  的值是剂量响应曲线线性区域的斜率和 y 截距。如果  $n_c$  等于 1,则多目标模型(式(1))可以简化为单个目标模型,如公式(2)所示:

$$\frac{N_t}{N_0} = 10^{-kF} \cdot \dots (2)$$

#### b) Geeraerd 模型

(Geeraerd, Herremans, & Van Impe, 2000)提出了一个含有肩部、尾部影响的多目标模型,

如公式(3)所示:

$$\frac{N_t}{N_0} = 10^{-kF} \left( 1 - \frac{N_{\text{res}}}{N_0} \right) \left( \frac{10^{kt_1}}{1 + (10^{k(t_1 - t)} - 10^{-kt})} \right) + \frac{N_{\text{res}}}{N_0} \dots (3)$$

其中, $N_{res}$ 是亚群的微生物浓度(CFU 或 PFU/mL),此类亚群由具有紫外抗性或者是因试验测试精度不够而出现的微生物构成,k 是关键微生物种类的最大失活速率常数,以线性部分的斜率(cm²/mJ)给出, $t_1$ 是肩部长度(mJ/cm²),可通过将剂量响应曲线线性区域的 Y 轴长度除以 k 得到。

#### 2.4 254 nm 紫外光辐照下不同微生物的 UV 失活效应

(Eickmann et al., 2020)研究了血液制品中加入 SARS-CoV(严重急性呼吸综合征冠状病毒)、CCHFV(克里米亚-刚果出血热病毒)与 NiV(尼帕病毒)的灭活试验,以大于 0.1 mJ/cm² 的剂量 UVC 照射,可以使浓缩血小板 SARS-CoV (≥3.4 log)(99.96%),CCHFV (≥2.2 log)(99.4%) 和 NiV (≥4.3 log)(99.995%)的传染性降低至低于检测值下限;大于 30 J/cm² 的剂量可见光照射,可以使亚甲蓝-血浆 SARS-CoV (≥3.1 log)(99.92%),CCHFV (≥3.2 log)(99.94%) 和 NiV (>2.7 log)(99.8%)的传染性降低至低于检测值下限。

紫外线杀灭微生物的由易到难的顺序大致为:细菌~原生动物>大多病毒>细菌孢子>腺病毒>藻类。采用 254 nm 紫外光辐照达到相同消毒效果的条件下(4 log(99.99%)或 3 log(99.9%)),使不同病毒与细菌失活所需的实验室紫外辐射剂量如表 2、表 3 所示,其中表 3 反映出病毒通常没有光复活机制(Bolton J R and Cotton, 2008)。

表 2 254 nm 紫外光辐照下病毒失活所需实验室紫外辐射剂量(4 log)

病毒	分类	4 log UV 剂量 mJ/cm <sup>2</sup>		
		无光活化	有光活化	
Adenovirus Type 40 腺病毒 40 型	双链 DNA	124	_	
Adenovirus Type 41 腺病毒 41 型	双链 DNA	112	_	
B40-8 phage B40-8 噬菌体		28	_	
Coxsackievirus B5 柯萨奇病毒 B5	单链 RNA	36	_	
Hepatitis A HM175 甲型肝炎 HM175	单链 RNA	16	_	
Hepatitis A 甲型肝炎	单链 RNA	21	_	
MS2 BacteriophageMS2 噬菌体	单链 RNA	62	_	
Poliovirus Type 1 脊髓灰质炎病毒 1 型	单链 RNA	27	_	
PRD-1 phage PRD-1 噬菌体		30	_	
ΦX174 phage ΦX174 噬菌体	单链 DNA	10		
Rotavirus SA11 轮状病毒 SA11	双链 RNA	36		
S. aureus phage A994 金黄色葡萄球菌噬菌体 A994		38	_	

表 3 254 nm 紫外光辐照下细菌失活所需实验室紫外辐射剂量(4 log)

	4 log UV 剂量			4log UV 剂量	
细菌种类	mJ/	cm <sup>2</sup>	细菌种类	mJ/cm <sup>2</sup>	
和四行人	无光	£   有光		无光	有光
	活化	活化		活化	活化
Aeromonas hydrophila 嗜水气单胞菌	5	NA	Mycobacterium smegmatis 耻垢分枝杆菌	20	27
Bacillus anthracis spores 炭疽芽孢杆菌	>60	_	Mycobacterium tuberculosis 结核分枝杆菌	20	NA
Bacillus subtilis spores 枯草芽孢杆菌孢子	80	_	Pseuodomonas aeruginosa 铜绿假单胞菌	11	19
Enterobacter cloacae 阴沟肠杆菌	10	33	Pseuodomonas mallei 锤状假单胞菌	14.5	NA
Enterocolitica faecium 粪肠球菌	17	20	Salmonella anatum (from human feces) 沙门氏菌(来自人类粪便)	15**	NA
Campylobacter jejuni 空肠弯曲菌	4.6	NA	Salmonella enteritidis (from human feces)肠炎沙门氏菌(来自人类粪便)	10	NA
Citrobacter diversus 柠檬酸杆菌	11.5	NA	Salmonella typhi ATCC 19430 伤寒沙门氏菌 ATCC 19430	8.2	NA
Clostridium perfringens 产气荚膜梭菌	23.5	NA	Salmonella typhimurium (from human feces) 鼠伤寒沙门氏菌(来自人类粪便)	9	NA
Corynebacterium diphtheria 白喉杆菌	6	NA	Salmonella marcescens 粘质沙门氏菌	13	30
Coxiella bumetti 柯氏杆菌	3	NA	Shigella dysenteriae ATTC 29027 痢疾志贺氏菌 ATTC 29027	3	NA
Escherichia coli ATCC 11229 大肠杆菌 ATCC 11229	10	28	Shigella sonnei ATTC 9290 宋内志贺氏菌 ATTC 9290	8.2	NA
Escherichia coli O157:H7 大肠杆菌 O157: H7	6	25	Staphylococcus aureus 金黄色葡萄球菌	10.4	NA
Escherichia coli wild type 大肠杆菌野生型	8.1	NA	Streptococcus faecalis ATTC 29212 粪链球菌 ATCC 29212	11.2	NA
Klebsiella pneumonia 肺炎克雷伯菌	20	31	Vibrio cholerae ATTC 25872 霍乱弧菌 ATTC 25872	2.9	21
Klebsiella terrigena 克雷伯氏菌	11	NA	Yersinia enterocolitica ATTC 27729 小肠结肠炎耶尔森菌 ATTC 27729	4.6	NA
Legionella pneumophila 嗜肺军团菌	9.4	NA	** 3 log 灭活		

#### 2.5 不同光谱下的 UV 失活效应

根据 The Ultraviolet Disinfection Handbook(2008)所述,微生物对紫外光的相对失活反应强度由其吸收紫外光的能力决定,图 3显示了一些微生物的作用光谱以及 DNA 紫外吸收

光谱。作用光谱的差异可能由 DNA/RNA 的核苷酸组成不同造成。因低压紫外线发出的主波 长为 254 nm,图 3 中将 254 nm 处的相对值归一化为 1。由此图可以看出,大肠杆菌等典型 细菌的 UV 失活效应曲线最高值大概在 260 nm ~ 270 nm 左右。

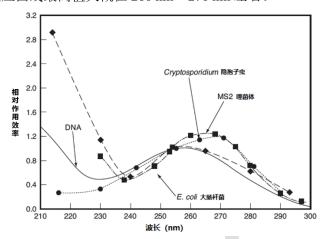


图 3 典型细菌不同波长(相比 254 nm)失活相对响应曲线

(Rattanakul & Oguma, 2018)验证了不同剂量下的 265 nm、280 nm、300 nm UV LED 对水中大肠杆菌(E.coli)、嗜肺军团菌(L. pneumophila)、铜绿假单胞菌(P. aeruginosa)、枯草芽孢杆菌(B. subtilis spores)和噬菌体 Qβ(bacteriophage Qβ)的灭活曲线,以波长 254 nm 低压紫外灯为参照,如图 4 所示,各微生物的灭活曲线呈线性或者乙状,符合 Geeraerd 模型; 265 nm 紫外 LED 显示出最有效的影响。

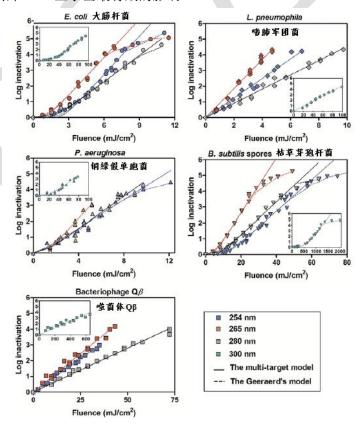


图 4 不同微生物不同波长下的灭活曲线

#### 2.6 UV/蓝光杀灭真菌的补充说明

UVC 杀灭和抑制细菌、病毒的作用已经得到广泛认可,但紫外线对真菌的抑制作用因真菌种类不同结论并不统一,可能和细胞壁结构的多样性有关。

刘丽等 (2013) 试验研究表明, 犬小孢子菌、絮状表皮癣菌、白念珠菌、近平滑念珠菌、克柔念珠菌经 253.7 nm 波段的紫外线在 10 cm 处 (辐照度为 0.23 μw/cm²) 照射 10 分钟后停止生长;红色毛癣菌、须癣毛癣菌、光滑念珠菌、热带念珠菌、短帚霉和枝顶孢霉在相对低紫外辐射剂量的照射条件下可以继续生长,但生长速度减缓;青霉在各种照射条件下均可继续生长,即使延长照射时间也无法完全将其杀灭。同时,文中也指出,紫外线对真菌的杀灭和抑制作用,尚未确定临界条件,有待进一步研究。

(Yin et al., 2013)综合分析了用光治疗感染的各方面的影响因素,发现 400 nm ~ 470 nm 的蓝光可以有效促进细胞内源性卟啉的生成,从而产生具有细胞毒作用的单线态氧和羟基自由基等活性氧分子,进而杀灭真菌。研究同样指出蓝光灭活的内在机理有待进一步研究。在一些抗感染的临床应用中,亦有利用 UVC/UVA/蓝光照射预防和治疗局部感染的研究,且因光照不会产生耐药性,在某些皮肤病的治疗中,成为替代抗生素的有效方案。

#### 3 紫外消毒杀菌产品参数分析

#### 3.1 概述

目前紫外消毒杀菌产品主要以低压汞灯、低压高强度汞灯为主,关键性能参数集中在辐射照度和寿命。而随着紫外 LED 技术的发展,紫外 LED 消毒杀菌产品在光电参数、寿命和透射率等方面需要重新规范。

目前紫外消毒杀菌产品主要归纳为水净化、空气净化和表面杀菌三大应用领域。水净化产品以静态反应器与动态反应器为主;空气净化产品以高层空气消毒与供暖、空调系统管道消毒为主;表面杀菌产品以便携式手持产品为主。

#### 3.2 水净化产品及评价参数

#### 3.2.1 静态水净化产品

静态水净化产品主要以家用的紫外消毒水杯、水壶、饮水机底部容器等静态反应器和商用的静态反应器为主。如图 5 所示,静态反应器通常采用浅底的圆形器皿作为反应室,紫外光源垂直照射圆形器皿。该反应器主要针对强紫外线抗性的细菌或者病毒,同时可以有效控制反应器的温度。

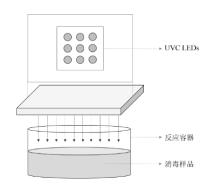


图 5 典型静态反应器(紫外 LED 光源模型)

#### 3.2.2 动态水净化产品

动态水净化产品主要应用于污水处理站、自来水厂等场所,主要以商用动态反应器为主,动态反应器通常又包含明渠净化系统(如图 6 所示)和封闭管道净化系统(如图 7 所示)。动态反应器主要针对水流的需求设计,同时针对的细菌或者病毒的紫外抗性普遍比较低。



A B C C 水流 水流

图 6 明渠净化系统

图 7 封闭管道净化系统(A 单灯环形反应器、 B 多灯平行反应器、C 多灯垂直反应器)

#### 3.2.3 评价参数

由美国国家环境保护署(USEPA)发布的《用于长期2强化地表水处理规则的紫外线消毒指导手册》(*Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule*(简称 UVDGM))中指出水净化反应器的净化能力主要参考几个方面,如下:

- ——紫外辐射照度:
- 一一水流速率;
- ——紫外灯的状态;
- ——紫外线穿透率;
- ——反应器的管道安装布局和设置;
- ——紫外监测传感器的测不准问题。

针对传统低压和中压紫外汞灯的技术要求,国家标准 GB/T 19837—2005 《城市给排水紫外线消毒设备》、GB 19258—2012 《紫外线杀菌灯》(最新版修订中,计划号 20203985-T-607)、行业标准 CJ/T 204—2000 《生活用水紫外线消毒器》、HJ 2522—2012 《环境保护产品技术要求紫外线消毒装置》均给出了相应的规范,如表 4 所示。

### 表 4 传统紫外汞灯技术要求

技术要求	GB/T 19837—2005	GB 19258—2012	CJ/T 204—2000	НЈ 2522—2012
寿命	低压灯和低压高强灯不应低于 12 000 h	不应低于 5000 h, 2000 h 时的紫外辐		低压灯不应低于 8 000 h, 老化系数不小于 70%;
	中压灯不应低于 3 000 h	射通量维持率不应低于 85%, 寿终时		低压高强灯不应低于 12 000 h, 老化系数不小于
	老化系数不低于 0.5	的紫外辐射通量维持率不应低于 65%		80%;中压灯不应低于5000h,老化系数不小于
				70%
清洗和结垢系	1次/500h到1次/h之间,结垢系数不应	_	_	结垢系数不应小于 0.85
数	小于 0.8			
紫外线穿透率	不应小于 90%	-	大于 85%	不应小于 90%
(UVT)				
防护等级	水上部件不应低于 IP65	_	_	水上部件不应低于 IP65
	水下部件不应低于 IP68			水下部件不应低于 IP68
辐射效率/辐	_	实测值不应低于标称值的 90%	_	低压灯和低压高强灯不应低于 35%, 中压灯不应
射通量				低于 15%
辐射照度	_	不应低于规定值的 93%	_	_
有效剂量	污水:		新的灯管:	污水:
	a) 二级标准和一级标准 B, 不应低于 15		不小于 12 mJ/cm <sup>2</sup>	a) 二级标准和一级标准 B, 不应低于 15 mJ/cm <sup>2</sup>
	mJ/cm <sup>2</sup>		正常工作状态:	b) 一级标准 A, 不应低于 20 mJ/cm <sup>2</sup>
	b) 一级标准 A, 不应低于 20 mJ/cm <sup>2</sup>		不小于 9 mJ/cm <sup>2</sup>	生活饮用水:
	生活饮用水:			不应低于 40 mJ/cm <sup>2</sup>
	不应低于 40 mJ/cm <sup>2</sup>			城市污水再生利用水:
	城市污水再生利用水:			不应低于 80 mJ/cm <sup>2</sup>
	不应低于 80 mJ/cm <sup>2</sup>			医院、禽畜养殖场污水:
				不应低于 60 mJ/cm <sup>2</sup>

#### 3.3 空气净化产品及评价参数

#### 3.3.1 空气净化产品

空气净化产品主要用于家居、公共场所以及医院等特殊消毒需求场所。目前市场中销售的产品主要为便携式、悬挂式等传统汞灯光源的紫外空气消毒灯具,但是该类灯具存在多种使用限制。灯具长时间照射的辐射剂量将超过 254 nm 的有效辐射限制阈值(单日不应超过 3 mJ/cm²),因此无法在有人或者动物的场所使用。同时传统汞灯光源在消毒杀菌时也会产生臭氧,对于室内应用场所存在一定的安全隐患。

美国照明工程学会(IES)在发布的《杀菌紫外线-常见问题》(Germicidal Ultraviolet (GUV) – Frequently Asked Questions)中指出主要并且高效的空气净化方法分为两类。

- a) 室内高层空气消毒,室内高层空气消毒由于安置在 2.1 m 以上的高度,同时只消毒房间高层的空气,可以有效减少对人或者动物的辐射危害,如图 8 所示;
- b) 柜式、供暖与空调系统(HVAC)内的空气消毒,由于空气消毒效果与每小时的循环风量有关,该种针对通风管道的消毒方式在单次消毒的空气体积方面比不上针对整个室内高层的空气消毒方式,因此消毒效率有所降低。

两种净化方法的优缺点比较如表 5、表 6 所示。

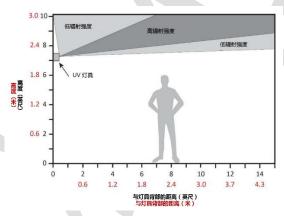


图 8 室内高层空气消毒示意图

表 5 室内高层空气消毒优缺点对比

#### 优点 缺点 适用于所有环境和通风条件 安装、维护的成本可能比较高 可以实现高等效换气量(ACH) 在安装不当的情况下, 存在紫外辐射暴露风 是一种房屋内部的集成消毒方式 当与高效的通风系统结合时, 可以具有一定 目前在全球范围内没有广泛推广 的房屋表面去污能力 系统需要专业人员进行设计、安装、维护、 超过70年的理论应用经验,可以安全的部 调试 署使用、维护、调试和运行 具有维护能力的企业比较少 对于结核病症有广泛的抑制效果 房屋的层高至少要高于 2.4m 提供开放式或百叶窗式的灯具以适应不同的 存在材料紫外暴露老化的风险 房屋结构 多项报告论证, 具有理论支撑

表も	HVAC	系统空气表面消毒优缺点对比	•
120	114/10	71.21. L VX W / H # 1/L W / / 1 / L	

优点	缺点		
● 适用于所有环境和通风条件	● 具有潜在的紫外暴露隐患		
● 封闭系统	● 安装、维护的成本可能比较高		
● 可以处理再循环空气	● 存在过滤网老化问题		
● 可以清洁冷却管	● 存在系统材料老化问题		

#### 3.3.2 评价参数

针对空气净化产品,国家标准 GB 28235—2020《紫外线消毒器卫生要求》给出了规范,如表 7 所示,要求同时循环风量不应小于适用体积的 8 倍,相当于等效换气量(ACH)大于 8。针对白色葡萄球菌(8032 株)的杀灭率≥99.9%,其他自然菌的杀灭率≥90%的消毒时间 不超过 2h;空气消毒器应用于医院时,还需要符合 GB 15982—2012《医院消毒卫生标准》的要求。

表 7 空气净化技术要求

技术要求	GB 28235—2020
寿命	应大于等于 1 000 h, 辐射通量维持率不低于 70%
循环风量	出厂时的循环风量应不小于适用体积的8倍
辐射照度	不应低于标称值的 93%
消毒效果	白色葡萄球菌(8032株)的杀灭率≥99.90%,自然菌的杀灭率≥90%
	的消毒时间不超过 3 h;应用于医院时,还需要符合 GB 15982 的要
	求
初始臭氧产出量	应低于 0.05g/kWh

#### 3.4 表面消毒杀菌需求分析

#### 3.4.1 表面消毒产品

目前表面消毒产品主要集中在便携式手持消毒产品(见图 9),通常这种便携式产品的辐射照度都比较低(2 mW/cm² 左右),因此使用该种产品对随身物品等表面进行消毒时,为了达到 3 log(99.9%)或者 4 log(99.99%)的消毒灭杀效果,仍需要在表面停留几秒到几十秒,通常人们在使用时很少会达到时间的要求,因此消毒的效果仍然存在质疑。同时,虽然该类产品有一些设置了自动检测关灯等安全功能,但是仍然会存在安全隐患。



图 9 部分手持消毒产品

#### 3.4.2 要求分析

表面消毒产品除了应满足国家标准 GB 19258—2012 的光电性能要求,还应满足国家标准 GB 15981—1995《消毒与灭菌效果的评价方法与标准》与国家卫生部发布的《消毒技术规范》给出的消毒效果技术指标,如表 8 所示。

技术要求	GB 15981—1995	《消毒技术规范》
辐射照度	30 W 紫外线灯不应低于 70 μW/cm²; 高	30 W 紫外线灯不应低于 70 μW/cm²
(垂直 1m 距离处)	强度紫外线灯不应低于 200 μW/cm <sup>2</sup>	
辐射剂量	大肠杆菌: 20 mJ/cm <sup>2</sup>	_
(垂直 1m 距离处)	枯草杆菌黑色变种芽胞: 100 mJ/cm <sup>2</sup>	
消毒效果	大于等于 99.9%	各次试验对细菌及其芽孢和真菌的杀
		灭对数值均≥3.00(大于等于 99.9%)

表 8 消毒效果技术指标

#### 4 紫外 LED 杀菌场景需求分析

#### 4.1 医疗场所消毒/灭菌需求分析

国家卫生部发布的《消毒技术规范》指出,消毒(disinfection)是指"杀灭或清除传播媒介上病原微生物,使其达到无害化的处理",灭菌(sterilization)是指"杀灭或清除传播媒介上一切微生物的处理"。

消毒产品鉴定测试项目中,微生物杀灭试验必须先按不同种类的试验微生物进行鉴定试验,选出适宜的中和试验微生物:以金黄色葡萄球菌(Staphylococcus aureus)ATCC 6538 作为细菌繁殖体中化脓性球菌的代表;大肠杆菌(Escherichia coli)8099 作为细菌繁殖体中肠道菌的代表;铜绿假单胞菌(Pseudomonas aeruginosa)ATCC 15442 作为医院感染中最常分离的细菌繁殖体的代表;白色葡萄球菌(Staphylococcus albus)8032 作为空气中细菌的代表;龟分枝杆菌脓肿亚种 (Mycobacterium chelonae subsp. abscessus)ATCC 93326 作为人结核分枝杆菌的代表;枯草杆菌黑色变种芽孢(Bacillus subtilis var.niger)ATCC 9372 作为细菌芽孢的代表;白色念珠菌 (Candida albicans)ATCC 10231 和黑曲霉菌(Aspergillus niger)ATCC 16404 作为致病性真菌的代表;脊髓灰质炎病毒-I型疫苗株(Poliovirus-I)作为病毒的代表。

不同用途的消毒剂和消毒器械,实验室杀灭微生物试验的代表微生物应按照表 9 所列选择。若特指对某微生物有效时,则需进行相应微生物的杀灭试验。

表 9	代表微生物种类列表

微生物的种类									
冰夫社名	黄金色	绿脓	大肠	白色	黑曲	白色	龟分枝	枯草杆菌	脊髓灰
消毒对象	葡萄球	杆菌	杆菌	念珠	霉菌	葡萄	杆菌脓	黑色变种	质炎病
	菌			菌		球菌	肿亚种	芽孢	毒
手	+		+	+					
皮肤和黏膜	+	+		+					
足	+			+	+				
空气						+			
医疗器械和用品									
(灭菌与高水平消								+	
毒)									
医疗器械和用品	+	+					+		
(中水平消毒)	+	+					+		+
医疗器械和用品		+							
(低水平消毒)	+	+		+					
一般物品表面和织	+		+						
物	+		+						
食(饮)具			+						+
饮水和游泳池水			+						
瓜果、蔬菜			+						

WS/T 367—2012《医疗机构消毒技术规范》中,"A.3 紫外线消毒的效果监测"要求,紫外灯下垂直距离 1m 处,中紫外线辐照强度≥70 μW/cm²,高紫外线辐照强度≥180 μW/cm²; "A.6 空气的消毒效果监测"要求,洁净手术部(室)和其他洁净场所,空气中的细菌菌落总数要求应遵循 GB 50333—2013《医院洁净手术部建筑技术规范》,非洁净手术部(室)等房间的细菌菌落总数≤4 CFU/(5min·直径 9cm 平皿)。

GB 15982—2012 中,"4.1 各类环境、物体表面"要求的菌落总数要求见表 10, 怀疑医院感染暴发或疑似暴发与医院环境有关时,应进行目标微生物检测。

表 10 医院各类环境空气、物体表面菌落总数卫生标准

环培	类别	空气平均菌落	物体表面平均菌落数		
が境	·大加	CFU/III	CFU/m <sup>3</sup>	CFU/cm <sup>2</sup>	
I 类环境	洁净手术部	符合 GB 50333 要求	≤150	<5.0	
1 天外境	其他洁净场所	≤4.0(30 min) <sup>b</sup>	≥130	≥3.0	
II 类环境		≤4.0(15 min)	_	≤5.0	
III 3	环境	≤4.0(5 min)	_	≤10.0	
IV 3	环境	≤4.0(5 min)	_	≤10.0	

注 1: \*CFU/皿为平板暴露法,CFU/m³为空气采样器法。

注 2: b平板暴露法检测时的平板暴露时间。

GB 18466—2005《医疗机构水污染物排放标准》要求传染病、结核病医疗机构水污染物排放限值(日均值)粪大肠菌群数(MPN/L)为100,不得检出肠道致病菌、肠道病毒、结核杆菌;综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值(日均值)粪大肠菌群数(MPN/L)

为500,不得检出肠道致病菌、肠道病毒。

#### 4.2 公共场所消毒杀菌需求分析

公共场所包括: 医疗卫生机构内的公共场所和公用用品、文化娱乐场所、浴业服务单位、 宾馆、饭店、酒吧、茶馆、公共交通工具和环境、商店和购物场所、社区活动场所、学校、 图书馆和书店、公用二次供水水箱和贮水容器、游泳池、银行和货币、幼托机构、体育场所 和公共健身器材、美发美容店、空调系统等。这是一个庞大的体系和概念,不同的公共场所 有不同的卫生标准或质量标准。

公共场所卫生检测主要依据 GB/T 17220—1998《公共场所卫生监测技术规范》和 GB/T 18204《公共场所卫生检验方法》系列标准进行。评价依据主要根据一系列相关国家标准,如 GB 9663—1996《旅店业卫生标准》、GB 9670—1996《商场(店)书店卫生标准》、GB 16153—1996《饭馆(餐厅)卫生标准》、GB 9671—1996《医院候诊室卫生标准》、GB 9667—1996《游泳场所卫生标准》、GB 9664—1996《文化娱乐场所卫生标准》、GB 9669—1996《图书馆、博物馆、美术馆、展览馆卫生标准》、GB 9668—1996《体育馆卫生标准》、GB 9665—1996《公共浴室卫生标准》、GB 9666—1996《理发店、美容店卫生标准》、GB 9672—1996《公共交通等候室卫生标准》等。

GB/T 18204.3—2013《公共场所卫生检验方法 第 3 部分:空气微生物》规定了公共场所空气中细菌总数、真菌总数、β-溶血性链球菌和嗜肺军团菌的现场采样与实验室培养方法;GB/T 18204.4—2013《公共场所卫生检验方法 第 4 部分:公共用品用具微生物》规定了公共场所公共用品用具细菌总数、真菌总数、大肠菌群、金黄色葡萄球菌和溶血性链球菌的采样与测定方法;GB/T 18204.5—2013《公共场所卫生检验方法 第 5 部分:集中空调通风系统》规定了空调冷却水、冷凝水中嗜肺军团菌;空调送风中细菌总数、真菌总数、β-溶血性链球菌和嗜肺军团菌的测定方法。

公共场所卫生标准对微生物控制的指标根据检测方法不同,标准值也不尽相同。具体指标可见表 11~表 13。

项目	3-5 星级饭店、宾馆	1-2 星级饭店、 宾馆和非星级带 空调的饭店、宾 馆	普通旅店、招待 所、图书馆、博 物馆、美术馆	饭馆、医院候 诊室、游泳 馆、体育馆、 文化娱乐场 所、理发店、 美容院、候机 室	商场 (店)、 书店、展 览馆、候 车室
空气细菌总数	_	_	_	_	_
a.撞击法,CFU/m³	≤1 000	≤1 500	≤2 500	≤4 000	≤7 000
b.沉降法,个/皿	≤10	≤10	≤30	≤40	≤75

表 11 部分公共场所卫生标准值

项目	细菌总数	大肠菌群	致病菌
		$\uparrow$ /50 mc <sup>2</sup>	$\uparrow$ /50 mc <sup>2</sup>
茶具	5 CFU/mL	不得检出	不得检出
毛巾和床上卧具	200 CFU/mc <sup>2</sup>	不得检出	不得检出
脸(脚)盆、浴盆、座			不得检出
垫、拖鞋			- 1 10 de m

表 12 公共用品清洗消毒判定标准

表 13 人工游泳池水质卫生标准值

项目	标准值
细菌总数,个/mL	≤1 000
大肠菌群,个/L	≤18

#### 4.3 居室环境消毒杀菌需求分析

家庭环境是人类接触最密切的环境之一,居室环境的清洁状况将对家庭成员的健康产生巨大的影响。家庭中微生物的大量存在使得发生与微生物污染相关的疾病的几率增加,因此为了预防和避免致病菌在家庭成员中的传播,开展家庭消毒十分必要。

家庭环境空气中的微生物,细菌的浓度明显高于真菌,并且它们的浓度具有明显的季节变化特征:春季和夏季高于秋季和冬季。电器也是微生物的栖息地之一,其中冰箱、洗衣机、和空调等大件电器是污染的重中之重。冰箱的低温设置仅能抑制部分微生物的生长却不能创造无菌环境,甚至会有致病菌的存活。洗衣机中的细菌总数、总大肠菌群和霉菌很容易超标。家庭中的小物件,污染情况也不容忽视。有研究表明,对日常频繁接触的物品进行微生物学检测,结果显示细菌轻度污染的物品占总数的 73.1%;重度污染的占 22.8%。其中牙刷污染情况最为严重,甚至个别检出带有幽门螺旋杆菌。大肠杆菌污染最严重的是抹布,阳性率高达 61.8%。另外,在致病菌的调查中发现家庭环境与物品中乙肝表面抗原的平均阳性率为4.2%。另一项对家庭厨房卫生状况的调查显示 69%的厨房中有一件以上的物品检出有大肠菌群污染,其中抹布、碗和盘子占比的比例较高。综上,家庭环境中的微生物不仅数量庞大而且种类繁多,甚至还存在对人有致病性的细菌、真菌和病毒。

目前没有专门检测家庭环境微生物的技术规范/检测方法、质量标准或卫生标准,一般按照《消毒技术规范》或 GB 15982—2012 中规定的采样方法和检测标准进行操作。一般微生物的检测指标以细菌总数、大肠菌群、真菌和 HBsAg 四项为主。

#### 4.4 城市用水净化需求分析

GB 5749—2006 《生活饮用水卫生标准》中要求不得含有病原微生物,水质常规指标中相应的微生物指标要求不得检出总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希式菌(MPN/100 mL或 CFU/100 mL),菌落总数限制为(CFU/100 mL)100。

GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》要求粪大肠菌群数(个/L) 所要求的日均值最高允许排放浓度—级标准 A 为  $10^3$  个/L、一级标准 B 为  $10^4$  个/L、二级标准为  $10^4$  个/L、三级标准不作要求。

GB 3838—2002《地表水环境质量标准》依据地表水水域环境功能和保护目标,按功能高低依次划分为五类。每个分类对水质中粪大肠菌群数(个/L)的要求分别是不超过 200、2 000、10 000、20 000、和 40 000。

#### 4.5 设施农业杀菌需求分析

#### 4.5.1 果蔬有害微生物分析

Gerald M.Sapers 等(2011)在《果蔬微生物学》指出,果蔬生产和加工领域的微生物危害主要有2类,一类是食源性人肠道病原菌,一类是果蔬的微生物腐烂。

食源性疾病中,沙门菌、大肠杆菌 O157: H7 引起的疾病占果蔬引发疾病的 45%、38%。 食源性微生物种类主要为以下几类:

- a) 土壤致病菌(肉毒梭菌、单核细胞增生李斯特菌);
- b) 粪便致病菌(沙门菌、志贺杆菌、大肠埃希杆菌 O157: H7等);
- c) 致病寄生虫(隐孢子虫、环孢子虫);
- d) 致病病毒(甲肝病毒、肠道病毒、类诺沃克病毒)。

引起腐败的微生物有细菌、真菌和酵母。一般而言,霉菌、乳酸菌和酵母引起酸性水果(如苹果、橘子、浆果等)腐败;中性果蔬(如生菜、可食根或块茎等)腐败由能产生降解植物细胞壁的果胶酶的细菌造成的,细菌腐败通常是以软腐败形式存在的,细菌软腐作为主要因素,可以导致马铃薯、生菜、灯笼椒、黄瓜和番茄变质。同时,腐烂植物组织比正常植物组织更易携带沙门菌。软腐细菌包括欧文菌属、假单胞菌属、黄单胞菌属、梭菌属、芽孢杆菌属和噬纤维菌属。

CAC/RCP 53-2003《新鲜水果和蔬菜卫生操作规程》中规范了新鲜水果和蔬菜初级生产卫生要求,包括农业投入品要求、与种植和收获有关的室内设施要求以及人员健康、卫生和卫生设施要求。GB 2716-2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》要求水果及其制品和果蔬汁类及其饮料的展青霉素含量不能超过 50 μg/kg。GB/T 27305-2008《食品安全管理体系 果汁和蔬菜汁类生产企业要求》中规定原料果蔬的拣选环节中真菌毒素水平应符合 GB 2761-2017 要求,同时食品杀菌工艺要求达到 5 log(99.999%)的灭菌效果。

#### 4.5.2 水产养殖动物防疫

水产养殖的风险高,除去自然因素在内的不可抗因素外,病害风险对水产养殖风险也很大,见表 14。尤其是鱼类养殖病毒性疾病,一旦大面积爆发,没有特效治疗药物来迅速治理,例如虾蟹类感染和死亡率都很高。2017年全年监测到的水产养殖发病种类和疾病种类与往年相比依然较多,包括病毒性疾病、细菌性疾病、真菌类疾病、寄生虫性疾病、非病原性疾病、不明病因疾病等,危害严重的主要有淡水鱼类细菌性败血症、鲫造血器官坏死症、鳜鱼传染性脾肾坏死病、甲壳类白斑病等。

为了有效降低病害风险,控制水生动物的饲养水质是最关键的环节。按照 GB 11607—1989《渔业水质标准》要求,鱼、虾、藻类等养殖区域的总大肠菌群数不超过 5 000 个/L,贝类养殖区域的大肠菌群数不超过 500 个/L。

类别	病毒病	细菌病	真菌病	寄生虫病	合计
鱼类	10	18	2	21	51
虾类	7	9	2	3	21
蟹类	1	5	_	1	7
贝类	_	4	_	_	4
两栖/爬行类	2	6	_	1	9
藻类	_	1	_		1
海参	_	3	_	_	3
合计	20	46	4	26	96

表 14 全国监测的各养殖种类疾病分类情况汇总

#### 4.5.3 畜牧业防疫

我国畜禽疫病的种类繁多,据 1986~1990 年全国畜禽疫病普查表明,畜禽传染病有 202 种之多。其中细菌性疾病 111 种,病毒性疾病 80 种,真菌性疫病 11 种,其中 80 年代发现的新病达 17 种之多,并且还在不断增加。因此,注重日常消毒工作,可有效灭杀各类病原体,切断传播途径,降低疫病发生率,在疫病防控过程中发挥着极为重要的作用。

此外,针对集约化、规模化的畜禽养殖场和养殖区,对于经无害化处理后的畜禽养殖业废渣,应符合 GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》中废渣无害化环境标准规定: 粪大肠菌群数不超过 10<sup>3</sup> 个/kg。

#### 4.6 食品微生物杀菌需求分析

无论是果蔬、水产品还是肉类养殖业,对于食品中微生物的检测方法主要依据 GB 4789.1—2016《食品微生物学检验国家标准》,检测结果主要依据 GB 29921—2013《食品安全国家标准食品中致病菌限量》进行判定。表 15 总结了不同食品类型中需要检测的致病菌种类以及限量。

表 15 GB 29921—2013 规定的致病菌限量

食品	致病菌指标	采村	羊方案』	及限量(若非指定,均以	以/25g 或/25mL 表示)	检验方法	友沪
長前	<b>致</b>	n	c	m	M	位短月法	备注
大小山口	沙门氏菌	5	0	0		GB 4789.4	
<b>肉制品</b> 熟肉制品	单核细胞增生李斯特氏菌	5	0	0	_	GB 4789.30	_
即食生肉制品	金黄色葡萄球菌	5	1	100 CFU/g	1 000 CFU/g	GB 4789.10 第二法	
<b>邓良生内</b> 柳丽	大肠埃希氏菌 O157:H7	5	0	0	_	GB/T 4789.36	仅适用于牛肉制品
水产制品	沙门氏菌	5	0	0		GB 4789.4	
熟制水产品	副溶血性弧菌	5	1	100 MPN/g	1 000 MPN/g	GB 4789.7	_
即食生制水产品	黄金色葡萄球菌	5	1	100 CFU/g	1 000 CFU/g	GB 4789.10 第二法	
即食蛋制品	沙门氏菌	5	0	0	_	GB 4789.4	_
粮食制品	沙门氏菌	5	0	0		GB 4789.4	
熟制粮食制品(含烘烤类)	抄门风困	3	0	U		GB 4769.4	
熟制带馅料面米制品	黄金色葡萄球菌	5	1	100 CFU/g	1 000 CFU/g	GB 4789.10 第二法	_
方便面米制品	與 並 亡 制 街 坏 困	3	1	100 CF 0/g	1 000 CF 0/g	UD 4/09.10 第二亿	
即食豆类制品	沙门氏菌	5	0	0	_	GB 4789.4	
发酵豆制品	黄金色葡萄球菌	5	1	100 CFU/g	1 000 CFU/g	GB 4789.10 第二法	_
非发酵豆制品	<b>英亚口制街外</b> 困	3	1	100 CF0/g	1 000 CFO/g	GD 4709.10	
巧克力类及可可制品	沙门氏菌	5	0	0	_	GB 4789.4	_
	沙门氏菌	5	0	0	_	GB 4789.4	
即食果蔬制品(含酱腌菜类)	金黄色葡萄球菌	5	1	100 CFU/g	1 000 CFU/g	GB 4789.10 第二法	_
	大肠埃希氏菌 O157:H7	5	0	0		GB/T 4789.36	仅适用于生食果蔬制品
饮料(包装饮用水、碳酸饮料除	沙门氏菌	5	0	0		GB 4789.4	
外)	金黄色葡萄球菌	5	1	100 CFU/g	1 000 CFU/g	GB 4789.10 第二法	_

表 15 GB 29921-2013 规定的致病菌限量(续)

食品	致病菌指标	采村	采样方案及限量(若非指定,均以/25g 或/25mL 表示)			检验方法	备注
艮吅	到/ <b>州</b> 图指怀		c	m	M	1並3並2月7五	<b>任</b>
冷冻饮品	沙门氏菌	5	0	0		GB 4789.4	
冰激凌类	OLAND		Ů	•		02 1,0511	
雪糕(泥)类	金黄色葡萄球菌	5	1	100 CFU/g	1 000 CFU/g	GB 4789.10 第二法	_
食用冰、冰棍类	亚兴 口 期 型 外 函		1	100 C1 C/g	1 000 C1 0/g	GD 4707.10 31—12	
即食调味品	沙门氏菌	5	0	0	_	GB 4789.4	
酱油	金黄色葡萄球菌	5	1	100 CFU/g	1 000 CFU/g	GB 4789.10 第二法	_
酱及酱制品							
水产调味品	副溶血性弧菌	5	1	100 MPN/g	1 000 MPN/g	GB 4789.7	仅适用于水产调味品
复合调味料							
坚果籽实制品							
坚果及籽类的泥	沙门氏菌	5	0	0	_	GB 4789.4	_
腌制果仁类							

注 1: 食品类别用于界定致病菌限量的适用范围,仅适用于本文件。

注 2: n 为同一批次产品应采集的样品数量; c 为最大可允许超过 m 值的样品数; m 为致病菌指标可接受水平的限量值; M 为致病菌指标的最高安全限量值。

#### 5 紫外线的防护和抗老化研究

#### 5.1 人体防护

#### 5.1.1 辐射限制阈值和相对光谱效率

国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)发布的《针对 180 nm~400 nm 范围的紫外线曝辐射量限值指南》(Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm) 和美国政府工业卫生学家委员会(ACGIH)发布的《辐射限制阈值(TLVs) 与生物暴露系数(BELs)指南》(Threshold Limit Values(TLVs) and Biological Exposure Indices (BELs))均针对 180 nm~400 nm 之间的辐射限制阈值进行了规定,254 nm 波段下要求对于人体皮肤和眼部的辐射限制阈值不应超过 60 J/m², 270 nm 的辐射限制阈值不应超过 30 J/m²,由于 270 nm 为 180 nm~400 nm 之间的最小限制阈值,因此以上两项指南中均规定 180 nm~400 nm 范围内有效限制阈值应均不超过 30 J/m²。

**辐射限制阈值**(threshold limit values,简称 TLVs)指人们在辐射的环境中每日连续工作 8 个小时,每周工作 5 天的情况下,并未受到任何副作用的辐射剂量指导值。针对紫外线辐射,辐射限制阈值用于评估皮肤和眼部受到的紫外线辐射剂量。

相对光谱效率(relative spectral effectiveness,  $S(\lambda)$ )是一个无单位的权重因素,其最大值为 1,由有效辐照度(effective irradiance,  $E_{\text{eff}}$ )、光谱辐照度(spectral irradiance,  $E_{\lambda}$ )和中心波长带宽  $\Delta\lambda$  等参数共同决定。 $S(\lambda)$ 与波长的对应关系如表 16 所示。

有效辐照度与光谱副照度和相对光谱效率的关系如公式(4):

$$E_{\text{eff}} = \sum_{180}^{400} E_{\lambda} S(\lambda) \Delta \lambda \cdots (4)$$

其中:

 $E_{\text{eff}}$  —有效辐照度,单位 W/cm<sup>2</sup>;

 $E_{\lambda}$ ——光谱辐照度,其值为紫外光谱中心波长的紫外辐射照度,单位  $W/cm^2$ •nm;

 $S(\lambda)$  ——中心波长的相对光谱效率,无单位;

Δλ——中心波长的带宽,单位 nm。

表 16 180 nm ~ 400 nm 范围内紫外辐射限制阈值和相对光谱效率

波长	辐射限制阈值	相对光谱效率	波长	辐射限制阈值	相对光谱效率
λ(nm)	TLVs(J/m <sup>2</sup> )	$S(\lambda)$	λ(nm)	TLVs(J/m <sup>2</sup> )	$S(\lambda)$
180	2 500	0.012	310	2 000	0.015
190	1 600	0.019	313	5 000	0.006
200	1 000	0.030	315	1.0×10 <sup>4</sup>	0.003
205	590	0.051	316	1.3×10 <sup>4</sup>	0.0024
210	400	0.075	317	1.5×10 <sup>4</sup>	0.0020
215	320	0.095	318	1.9×10 <sup>4</sup>	0.0016
220	250	0.120	319	2.5×10 <sup>4</sup>	0.0012
225	200	0.150	320	2.9×10 <sup>4</sup>	0.0010
230	160	0.190	322	4.5×10 <sup>4</sup>	0.00067

波长	辐射限制阈值	相对光谱效率	波长	辐射限制阈值	相对光谱效率
λ(nm)	TLVs(J/m <sup>2</sup> )	$S(\lambda)$	λ(nm)	TLVs(J/m <sup>2</sup> )	$S(\lambda)$
235	130	0.240	323	5.6×10 <sup>4</sup>	0.00054
240	100	0.300	325	6.0×10 <sup>4</sup>	0.00050
245	83	0.360	328	6.8×10 <sup>4</sup>	0.00044
250	70	0.430	330	7.3×10 <sup>4</sup>	0.00041
254	60	0.500	333	8.1×10 <sup>4</sup>	0.00037
255	58	0.520	335	8.8×10 <sup>4</sup>	0.00034
260	46	0.650	340	1.1×10 <sup>5</sup>	0.00028
265	37	0.810	345	1.3×10 <sup>5</sup>	0.00024
270	30	1.000	350	1.5×10 <sup>5</sup>	0.00020
275	31	0.960	355	1.9×10 <sup>5</sup>	0.00016
280	34	0.880	360	2.3×10 <sup>5</sup>	0.00013
285	39	0.770	365	2.7×10 <sup>5</sup>	0.00011
290	47	0.640	370	3.2×10 <sup>5</sup>	0.000093
295	56	0.540	375	3.9×10 <sup>5</sup>	0.000077
297	65	0.460	380	4.7×10 <sup>5</sup>	0.000064
300	100	0.300	385	5.7×10 <sup>5</sup>	0.000053
303	250	0.120	390	6.8×10 <sup>5</sup>	0.000044
305	500	0.060	395	8.3×10 <sup>5</sup>	0.000036
308	1 200	0.026	400	1.0×10 <sup>6</sup>	0.000030

表 16 180 nm ~ 400 nm 范围内紫外辐射限制阈值和相对光谱效率(续)

同时,TLVs and BELs 指南根据上表以波长和相对光谱效率  $S(\lambda)$ 绘制了紫外危害函数曲线,用于表达不同波长的紫外危害性,其中 270 nm 的相对光谱效率  $S(\lambda)$ 达到峰值 1,意味着 270 nm 在整个 180 nm  $\sim$  400 nm 区域的紫外辐射中对人最具有危害,反之  $S(\lambda)$ 越小,危害越小。因此相对光谱效率  $S(\lambda)$ 也可以理解为紫外光谱敏感度。

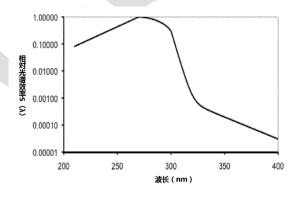


图 10 紫外危害函数(波长与相对光谱效率  $S(\lambda)$ )

#### 5.1.2 病症原理分析

#### 5.1.2.1 皮肤病症原理分析

人体皮肤结构图见图 11,皮肤受到紫外辐射所引起的病症主要分为短期和长期两种,

其中短期症状为红斑,长期症状为皮肤癌。

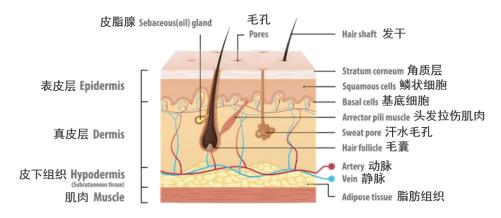


图 11 人体皮肤结构图

#### a) UVC 对于人体皮肤的透射与影响

CIE 187:2010 *UV-C photocarcinogenesis risks from germicidal lamps* 技术报告针对人体皮肤的透射与影响进行了系统性评估。该报告中指出,Diffey(1983)将角质层对于紫外辐射的透射率和反射率的测量值和计算值进行了对比, $280\,\mathrm{nm}$  处的透射率远远低于  $300\,\mathrm{nm}\sim400\,\mathrm{nm}$  区域,而反射率则在  $250\,\mathrm{nm}\sim400\,\mathrm{nm}$  整个区域相对平稳,见图 12。Bruls(1984)的对比实验表明, $300\,\mathrm{nm}$  处的透射率在 30%左右,而  $260\,\mathrm{nm}$  的透射率仅仅只有 8%,见图 13。

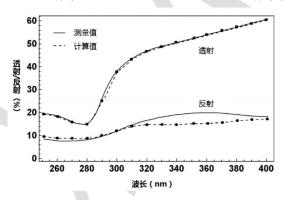


图 12 角质层对于紫外辐射的透射率和反射率(Diffey(1983))

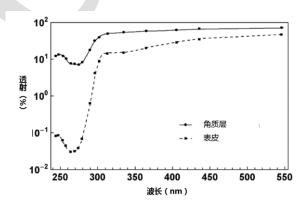


图 13 不同波长下角质层与表皮层的平均透射率(Bruls(1984))

Everett(1966)研究发现,上皮组织在 300 nm 的透射率大约为 250 nm 的 10 倍, 见图 14。

Bruls(1984)也认为尽管 DNA 核酸物质对于紫外线的吸收波峰在 260 nm 左右,但是在 260 nm 左右的致癌概率也只有 300 nm 处的 1%。

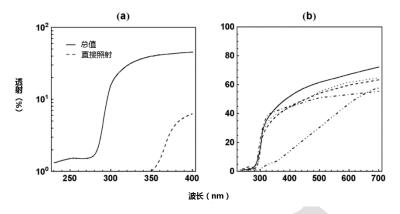
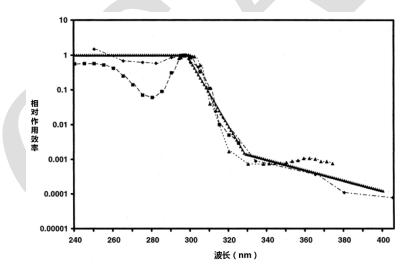


图 14 上皮组织对于紫外线以及可见光区域的透射率(Everett(1966))

因此,皮肤透射性越强的紫外波长(如 300 nm),更容易穿透上皮组织提高红斑以及皮肤癌的发病率。

#### b) 皮肤短期症状(红斑)

红斑主要由紫外辐射的光化学损伤引起皮肤表层血管扩张,通常由紫外辐射造成的红斑症状将会在 1~6 个小时之后才会出现。目前针对红斑的响应光谱研究已经持续了 70 多年,包括国际照明委员会(CIE)等多个研究机构发布了不同的响应光谱曲线(如图 15)。



注: CIE(1998)(实线)、Anders(1995)(三角)、CIE(1935)(正方形)、Parrish(1982)(菱形)

#### 图 15 皮肤红斑响应光谱

1935年,CIE 发布了早期的标准红斑响应光谱(图中正方形虚线),其主要由多个(254 nm、280 nm、297 nm,303 nm等)波长的汞灯作为响应光源绘制。随着高压氙弧灯、激光等光源的引用,低于300 nm 以及个别光谱范围的响应光谱间隔得到完善。1998年,CIE 发布了新的标准红斑响应光谱,见图 15 中实线。

红斑症状通常也作为观察皮肤紫外辐射 (UVR) 敏感度的通用方法。敏感度主要取决于肤色的深浅,浅色肤色人种 (如白种人) 相对于深色肤色人种 (如非洲裔) 对于紫外辐射更敏感。1975年,Fitzpatrick 发布了 6 个分级的皮肤分类法 (见表 17),通过不同的皮肤分级区分敏感度,等级 I 最容易晒伤,等级 VI 则从不晒伤。

分级	皮肤反馈 典型人种外观		
I	很容易严重晒伤,微微晒黑	具有白皙的皮肤,蓝色瞳孔,有雀斑;未晒过的皮肤是白色的	
П	经常晒伤,轻度晒黑	大部分具有白皙的皮肤,红或金发,蓝色、淡褐色以及棕色瞳	
11	红帝啊切,在及咽羔	孔;未晒过的皮肤是白色的	
III	适量晒伤,可以晒黑	未晒过之前具有白皙的皮肤,大多数为深色头发	
IV	不容易晒伤,容易晒黑	未晒过之前具有浅色、浅褐色的皮肤,深色头发,深色瞳孔	
V	几乎不晒伤,很容易晒黑	具有棕色的皮肤	
VI	从不晒伤,可以充分晒黑	具有黑色的皮肤	

表 17 Fitzpatrick 皮肤分级表

随后,为了量化对紫外辐射量对于皮肤的影响,CIE 207:2014 Sensitivity of human skin to ultraviolet radiation, expressed as minimal erythema dose(MED)技术报告以最小红斑剂量(minimal erythema dose,简称 MED)作为量化手段,将不同的敏感度分成了 4 级,并统一使用标准红斑剂量(standard erythema dose,简称 SED,定义 100 J/m²为 1 SED)进行分级,见表 18。

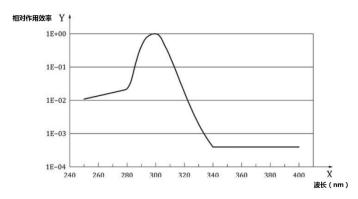
CIE 分级	类别	晒伤反馈	典型 MED,SED	
			$(100 \text{ J/m}^2)$	
I	紫外辐射极度敏感类型	总是很容易晒伤	1.5~2.5	
II	紫外辐射敏感类型型	经常晒伤	2.0~3.0	
III	紫外辐射适度抗性类型	轻微晒伤	2.5~5.0	
IV	紫外辐射抗性类型	几乎很少晒伤	>4.5	
注: 照射条件: 北纬 20~45 度地区,夏季正午太阳直射 30 min。				

表 18 人类皮肤对于紫外辐射的敏感度

#### c) 皮肤长期症状(皮肤癌)

皮肤癌包括基底细胞癌(basal cell cancer, 简称 BCC)、鳞状细胞癌(squamous cell cancer, 简称 SCC) 和恶性黑色素瘤(malignant melanoma,简称 MM)。其中,BCC 和 SCC 这两种非黑色素皮肤癌的患病率在三种皮肤癌中达到了 90%,同时患病人群在正常人群中的比值为 1:7,而 MM 患病人群与正常人群的比值仅为 1:90。SCC 通常都是由于长期的积累性日照导致,与地理纬度密切相关,而 BCC 主要是源于间断性的日照,有研究表明可能与童年或者青年时期的日照情况有关。反观 MM 的增速也在逐步上升,近十年翻了一翻,其主要原因有可能也是因为间断性日照,但与纬度、人种、性别、年龄等其他因素也有关。

针对 BCC 和 SCC 两种非黑色素皮肤癌的响应光谱,ISO/CIE 28077:2016 *Photocarcinogenesis action spectrum(non-melanoma skin cancers)*标准发布了标准非黑色素皮肤癌响应光谱(skin cancer Utrecht-Philadelphia action spectrum)(如图 16)。



注:由于 340 nm  $\sim$  400 nm 区域存在  $10\sim20\%$ 的测不准情况,因此该区域的实际数据被人工以 340 nm 处的数据取代。

#### 图 16 皮肤非黑色素皮肤癌响应光谱

该响应光谱的数据主要来自 Utrecht 和 Philadelphia 两个团队针对实验鼠表皮的测量数据,并根据人类的表皮对于紫外线的折射率优化而来。如图 16 所示,300 nm 附近的紫外辐射相对作用效应达到最大值,更容易造成实验鼠患皮肤癌。

根据 ICNIRP 的假设估算,按照一个人每日工作 8 个小时,每周工作 5 天,连续工作 20 年,同时全程接受 254 nm 的紫外辐射,单日辐射限制阈值达到 60 J/m²•d,在这种条件下,非黑色素皮肤癌的获病率将仅增加 0.37%。

同时,CIE 207:2014 技术报告表明,在 253.7 nm 的紫外辐射照射下,不会产生任何晒伤以及红斑的最小红斑剂量(MED)在 150  $J/m^2$  到 450  $J/m^2$  之间(CIE 皮肤敏感等级 I 到等级 IV),而紫外辐射限制阈值为 60  $J/m^2$ ,其限制阈值连最小红斑剂量的一半都不到。

对于皮肤的紫外辐射测试方法,ISO 15858:2016 *UV-C devices* – *safety information* – *permissible human exposure* 规定了 254 nm 低压汞灯光源的测试方法,该方法为使用紫外辐射仪进行测量,同时遵循了 ACGIH 对于皮肤辐射限制阈值的要求,被测对象与辐射仪之间应保持  $1.83\ m\sim2.13\ m$  的合理距离,辐射剂量不应超过  $60\ J/m^2$ 。

因此,在 180 nm~400 nm 范围的紫外光辐照下,单日辐射限制阈值(30 J/m²•d)对于人体的眼睛与皮肤是一个相对安全的限值要求。

#### 5.1.2.2 眼部病症原理分析

人眼结构图如图 17 所示,眼部受到紫外辐射所引起的病变主要集中在视觉(短期损伤) 和视网膜(长期损伤),其中对视觉的影响包括角膜结膜炎和白内障。

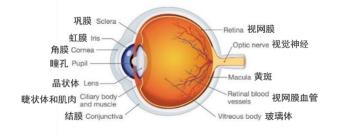


图 17 人眼结构图

#### a) 视觉影响(短期损伤)

#### 1) 角膜结膜炎

角膜结膜炎通常指焊接工人的"电弧眼"等病症。在紫外辐射下,角膜(Cornea)和结膜(Conjunctiva)对小于 300 nm 的短波长有非常强吸收效果,而造成的光损伤即为角膜结膜炎。一些研究(Pitts 1993 和 Ringvold et al 1982)发现目前角膜炎通常在 6~12 h 的紫外辐射下产生。而结膜炎的产生则需要更长的时间,同时会伴随着皮肤红斑等其他症状一起出现。但是通常这种由紫外辐射引起的角膜结膜炎很少会造成永久性损伤,在眼部被照射的 48 h 之后症状将会逐渐消失。

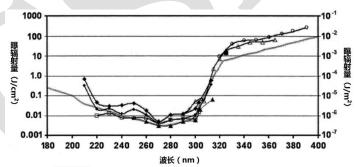
在形成角膜光损伤的紫外辐射剂量研究方面,Hamerski 等(1969)发现角膜光损伤所需要的 UVA 紫外辐射剂量超过了  $1\times10^5$  J/m<sup>2</sup>。

#### 2) 白内障

白内障的病症表现为晶状体暂时性或者永久性变为不透明。如图 18 所示,Pitts 等(1977) 通过动物试验发现大于 295 nm 的紫外波长能够穿透角膜被晶状体吸收。同时,他认为能够造成暂时性损伤的紫外辐射剂量随着波长的变化在 1.5×10<sup>3</sup> J/m<sup>2</sup> 与 12.6×10<sup>4</sup> J/m<sup>2</sup> 之间浮动,而引起永久性损伤的紫外辐射剂量是暂时性损伤的两倍。目前能够引发白内障的紫外辐射主要与 UVB 波段有关。UVA 波段的紫外线对于晶状体的影响目前很难从实验中证实。

#### b) 视网膜影响(长期损伤)

视网膜由于角膜和晶状体对于紫外线的阻挡作用很难形成短期光损失,通常只有少于 1%的 UVA 紫外辐射能够直接照射到视网膜上,而 UVB 波段则完全无法到达视网膜。在 Ham 等(1982)的试验中,用  $5\times10^4\,\mathrm{J/m^2}$  的紫外线针对摘除晶状体的眼部直接照射可以产生急性视网膜炎。



注 1: ICNIRP UV 作用光谱(实线)、灵长类动物角膜作用光谱(Pitts(1971)(实心圆)、Kurtin(1978)(空心圆)、Zuclich(1978)(实心矩形))、兔子角膜作用光谱(Pitts(1971)(实心菱形)、Pitts(1977)(空心三角))、人类角膜作用光谱(Pitts(1973)(空心矩形)、Cullen(1994)(实心三角)注 2: 左右两侧 Y 轴均为紫外曝辐射量,左侧单位为 J/cm²,右侧单位为 J/cm²。

#### 图 18 紫外辐射眼部作用光谱

#### 5.1.3 人体防护措施与建议

针对辐射危害,在 180 nm~400 nm 范围内有效限制阈值(TLVs)应均不超过 30 J/m², 当人体皮肤与眼睛暴露在过量的紫外辐射中将会导致红斑、角膜结膜炎症等急性反应,因此 需要佩戴护目镜并穿戴防护服进行有效防护。

#### 5.2 物品抗老化

#### 5.2.1 塑料性质变化的判定

塑料在受到太阳光以及类太阳光的实验室光源照射后,性质变化普遍集中在光化学老化。塑料的光化学老化主要分为颜色外观和机械结构两大方面。如表 19 所示,ISO 10640:2011 Plastics—Methodology for assessing polymer photoageing by FTIP and UV/visible spectroscopy 汇总了塑料中关键光反应物质受到红外与紫外光源照射所产生的性质变化。而且通过这种方法可以有效的识别塑料中的缺陷,如双键(double bond)、醚基(ether group)、氨基甲酸酯基(urethane group)、不稳定的着色剂(unstable colorant)、缺少紫外稳定剂(UV stabilizers)等等。

塑料种类	关键光反应物质	识别光谱	性质变化
聚碳酸酯 (PC)	水杨酸苯酯	IR 1 689 cm <sup>-1</sup> ; UV 320 nm	变黄
	二羟基二苯甲酮	IR 1 629 cm <sup>-1</sup> ; UV 355 nm	
不饱和聚酯树脂(UP)	共轭芳香族	UV 350 nm; 可见光>400 nm	变黄
			结构变化
聚苯醚 (PPE)	甲基醌	UV 330 nm	变黄

表 19 塑料关键光反应物质和性质变化(紫外光谱相关)

通常观察塑料的颜色性质变化采用以下两种方式:

#### a) 仪器测量法:

- 1) 对于不透明的塑料,检测仪器需要符合 ISO 11664-1 Colorimetry Part 1: CIE standard colorimetric observers、ISO 11664-2 Colorimetry Part 2: CIE standard illuminants、 ISO 11664-3 Colorimetry Part 3:CIE tristimulus values、ISO 11664-4 Colorimetry Part 4:CIE 1976 L\*a\*b\*Colour space 四项国际标准的要求;
- 2) 对于透明的塑料, 检测仪器需要符合 CIE 015 Colorimetry 的要求。

#### b) 目测分级评估法:

目测法是通过灰阶数值的大小和色相、饱和度、明亮度等三项指标的变化判断,等级 1 代表强烈的对比度而等级 5 代表无对比度,符合 ISO 105-A02 Textiles—Tests for colour fastness—Part A02: Grey scale for assessing change in colour 和 ISO 105-A03 Textiles—Tests for colour fastness—Part A03: Grey scale for assessing staining 两项国际标准的要求。同时,如果对比度的变化是在两个灰阶等级之间,也可以用两个灰阶的值代表(例如:3-4 级代表塑料样品的对比度比等级 3 低但是比等级 4 高)。除此之外,色相(hue)、饱和度(saturation)、明亮度(lightness)三项指标判断应该按照以下的要求进行规范。

1) 色相变化:接近或偏离蓝色;

接近或偏离绿色;接近或偏离红色;

接近或偏离黄色。

- 2) 饱和度变化: 更高饱和或者更低饱和;
- 3) 明亮度变化: 更亮或者更暗。

对于非颜色的外观变化,ISO 4582:2017 Plastics—Determination of changes in colour and variations in properties after exposure to glass-filtered solar radiation, natural weathering or laboratory radiation sources 对于这些典型的外观变化做出规范,可以参考表 20 的要求。对于结构外观变化,可以参考表 21 的要求。

外观特性	依据标准	定量数据
保光性	ISO 2813	是
透光性	ISO 13468-1	是
雾度	ISO 14782	是
粉化	ISO 4628-6	分级
质量	_	是
尺寸	_	是
裂痕		分级
分层	_	分级
翘曲		分级
微生物生长	-	分级
内部物质迁移到表面	-	分级

表 20 塑料典型外观变化的检测方法

表 21 典型塑料结构变化评估方法

评估特性	依据标准
拉伸特性	ISO 527
弯曲特性	ISO 178
冲击强度	
—夏比冲击强度	ISO 179 系列标准
—伊佐德冲击强度	ISO 180
—非仪器穿刺试验	ISO 6603-1
—仪器穿刺试验	ISO 6603-2
—拉伸冲击试验	ISO 8256
维卡软化温度	ISO 306
负载绕曲温度	ISO 75-1 和 ISO 75-2
动态机械热分析	ISO 6721-1、ISO6721-3 以及 ISO 6721-5
化学变化	_

#### 5.2.2 紫外光源塑料暴露试验方法

GB/T 16422.3—2014 《塑料实验室光源暴露试验方法第 3 部分: 荧光紫外灯》(ISO 4892-3:2016 IDT)对于在荧光紫外灯照射下塑料试验样品的耐候性做了评定和比对试验。该标准中采用的试验紫外光源如下:

a) 1A型(UVA-340)荧光紫外灯:这种灯在300 nm以下的辐射低于总光能输出的2%,

在 343 nm 有发射峰, 用于模拟 300 nm~340 nm 的日光;

- b) 1B型(UVB-340)荧光紫外灯:这种灯在300 nm 以下的辐射低于总光能输出的2%,在353 nm 有发射峰,用于模拟经窗玻璃后日光的紫外部分;
- c) 2型(UVB-313) 荧光紫外灯: 这种灯在 300 nm 以下的辐射大于总光能输出的 10%, 并在 313 nm 有发射峰。

试验条件如下表所示,人工气候老化(方法 A)、窗玻璃后日光(方法 B)和 2型(UVB-313)灯(方法 C)按照表 22 给出的条件进行试验。

方法 A: 人工气候老化							
循环序号	暴露周期	灯型	辐照度	黑标温度	相对湿度%		
1	8 h 干燥 4 h 凝露	1A 型(UVA-340) 灯	340 nm 时 0.76 W·m <sup>-2</sup> ·nm <sup>-1</sup> 关闭光源	60°C±3°C 50°C±3°C	不控制		
	8 h 干燥	1A型(UVA-340)	340 nm 时	50°C±3°C	不控制		
2	0.25 h 喷淋	TA型(UVA-340)	0.76 W·m <sup>-2</sup> ·nm <sup>-1</sup>	不控制	不控制		
	4 h 凝露	\( \text{\tin}\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\tint{\text{\tin}\text{\texi\tint{\text{\text{\text{\text{\text{\tin}}\\ \ti}\\\ \text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\ti}\tint{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\ti}\tint{\text{\text{\text{\text{\text{\texi}\tint{\text{\text{\ti}\tint{\text{\text{\texit{\text{\texi}\tint{\tiint{\text{\tin}\tint{\text{\tin}}\tint{\text{\tiin}\tint{\tiint{\text{\tin}}\tint	关闭光源	50°C±3°C	不控制		
3	5 h 干燥	1 A 开ルナ4日	290 nm~400 nm 持续	50°C±3°C	<15		
	1 h 喷淋	1A 型灯组	45 W·m <sup>-2</sup>	25°C±3°C	不控制		
4	5 h 干燥	1 A #U.VT.VI	290 nm~400 nm 持续	70°C±3°C	<15		
	1 h 喷淋	1A 型灯组	45 W·m <sup>-2</sup>	25℃±3℃	不控制		
方法 B: 窗玻璃后日光							
5	24 h 干燥	1B型(UVA-351)	340 nm 时	50°C + 2°C	不控制		
	(无水分)	灯	0.76 W·m <sup>-2</sup> ·nm <sup>-1</sup>	50°C±3°C			
方法 C: 2 型(UVB-313)灯							
6	8 h 干燥 4 h 凝露	2型(UVB-313)灯	310 nm 时 0.48 W·m <sup>-2</sup> ·nm <sup>-1</sup> 关闭光源	70°C±3°C 50°C±3°C	不控制		

表 22 暴露循环

注 1:如相关方商定可进行更高辐照度的试验。当选择高辐照度试验条件时,灯的寿命可能会显著缩短。 注 2: ±3℃的温度变化是指在平衡状态下黑标温度显示值围绕设定值的允许波动范围,这并不表示设定 值可在给定值的±3℃温度范围内变化。

#### 5.2.3 试验样品性能测试

GB/T 16422.1—2019《塑料 实验室光源暴露试验方法 第 1 部分: 总则》(ISO 4892-1:2016 IDT)中规范了试验样品的性能测试内容。首先试验样品需要根据 ISO 4582:2017 中描述的步骤测试暴露前后试样的性能,测试试样性能的具体步骤可以根据样品的种类和用途参照相关国家标准。

如果采用非破坏性试验测试材料性能,则应在开始暴露前进行性能测试。在每个暴露周期结束后测试同一性能。应注意每个暴露周期后在试样的相同位置测试同一性能。

如果采用破坏性试验测试材料的性能,则每个暴露周期均需独立的一组试验样品。对每组被暴露样品进行性能测试。建议将暴露后的样品和由相同材料制成的一组存放样品同时进

行测试并比较两者的性能值,或者,将被暴露样品在暴露前后的性能值进行比较。

#### 6 紫外 LED 杀菌消毒发展问题与建议

#### 6.1 关键技术问题分析

#### 6.1.1 杀菌消毒用 UVC LED 技术方案标准化暂不成熟,应用数据需要进一步积累

杀菌消毒用传统紫外光源的波长为 253.7 nm, 波长固定, 光源空间光分布均匀, 各标准推荐的技术要求均以此为背景, 如 HJ 2522—2012 中, 各场景水消毒的生物验证计量均明确做出规定。而 UVC LED 与传统紫外汞灯的发光原理不同, 光源形态、峰值波长、光谱分布、空间分布、电源驱动、散热要求、二次配光、应用系统均有很大的不同。

根据本文 2.5 部分,典型细菌的 UV 失活效应曲线最高值大概在 260 nm ~ 270 nm 左 右,最有效波长有待研究进一步确认。而 UVC LED 芯片研究最多的波长是 280 nm 左右, 外量子效率约 10%,最新消息 275 nm 研发水平可以做到 20%(Kneissl, Seong, Han, & Amano, 2019); 而 265 nm 处的外量子效率最高约在 5%。在此背景下,需要兼顾不同波长 UVC LED 的发光效率、辐射照度,去达到最佳的应用效果; 固定波长、固定剂量的技术解决方案需要产业更多验证数据和应用案例的支撑。

#### 6.1.2 标准制定将随着市场开启逐步开展,关键测试、评价方法有待探讨

传统紫外光源的成熟应用市场方面,如水处理、医院消毒等领域,UVC LED 的发光效率短时间内并不能做到直接替代,其测量方法、性能要求、产品与反应器规格、应用规范、智能调试、维护、操作规程等标准的制定、标准体系的建立需要结合典型应用场景的探索和实践逐步开展。

JJG 879—2015《紫外辐射照度计》中,UVC 波段划分是 200 nm ~ 280 nm,峰值波长  $\lambda_P$ =254 nm±5 nm,峰值半高宽度 $\Delta\lambda$  $\leq$ 10 nm;随着 UVC LED 辐射效率的提高、应用市场的扩大,计量相关机构和企业均积极面对,提出技术解决方案,以满足新兴市场发展的需要。

在寿命方面, GB 19258—2012 规定, 寿终时紫外线辐射通量的维持率不低于 65%; 在 LED 照明产品的标准中, 平均寿命 (50%的灯失效时的寿命) 指"灯的光通维持率达到本标准要求,并能持续燃点至 50%的灯的光通维持率衰减到 70%时的累积燃点时间" (GB/T 24908—2014《普通照明用非定向自镇流 LED 灯性能要求》)。对于杀菌消毒用 UVC LED 相关的产品寿命要求,需要产业共同探讨。

#### 6.1.3 科学、理性看待紫外线的安全影响,可借助智能手段提高信任度

针对紫外线对皮肤、眼睛的影响,家庭用途的安全要求、工业用途的职业保护等相关国内外相关标准和技术文件相对完善,如 GB 4706.85—2008《家用和类似用途电器的安全紫外线和红外线辐射皮肤器具的特殊要求》(IEC 60335—2—27:2004(Ed4.1) IDT)规定了家用和类似用途的装有向皮肤辐射紫外线和红外线的发射器的电器的安全。

因 LED 可控性好,在人来光灭、定时开关、达到剂量自动关闭、智能消毒机器人等方面借助智能化手段,提高用户的体验感、安全信任度,降低市场推广时的负面因素。

#### 6.2 产业发展建议

#### 6.2.1 发挥 LED 光源优势,聚焦应用场景,开发应用解决方案

公共卫生场所的杀菌消毒要求体现在实时的空气、表面消毒,公共场所除了飞机、火车、 汽车等移动交通工具外,建筑方面包括图书馆、办公、商店、观演、旅馆、医疗、教育、博 览、会展、交通、金融、体育等建筑,这部分场所进出人员相对不固定、人口密度高,对消 毒的需求度相对高:其市场相对消费类产品附加值高,是开展新兴技术示范应用的良好选择。

2020年10月20日,青岛市政府召开新冠疫情专题新闻发布会时表示,首次找到了充分的证据链,证明新冠病毒可在冷冻条件下长期存活并"由物传人"。这种冷冻环境下食品的灭菌提出了对紫外线消毒的新需求,是UVCLED应用的新的机遇。

#### 6.2.2 拓展市场渠道,结合智能等辅助手段,多样化产品形态

在 6.2.1 所描述的消毒应用中,UVC LED 多考虑将器件集成到公共场所应用的中央空调上,以此为基础,考虑拓展集成到冰箱、洗衣机、洗碗机、碗柜消毒器、净水器等各类电器中。这类电器市场集中度相对较高,如美的、海尔、格力等公司,新产品研发时间长,已安装电器更新换代慢,产品形态取决于电器公司,市场门槛相对较高。

目前市场上看到很多 UVC LED 应用的初级产品,杀菌灯、杀菌水杯、消毒牙刷架、消毒盒子/包、消毒棒/盘子、消毒刀架、灭菌晾衣架、杀菌烘干鞋架、鱼缸杀菌灯等等。这类应用产品能够充分体现 LED 器件尺寸小、便于集成、驱动电压低等优势,主要集中在家庭使用,具有价格相对低廉、用户专业性需求低、安全隐患多、产品质量低、市场监管难度高等特点;用户评价褒贬不一,有媒体在质疑其是否有用时,用"是不是智商税"来作为题目,体现了这部分产品所影响的多是勇于接受新事物的"领先采用者"。

半导体照明产业企业数量多,应用产品遍布于各种场所,市场渠道丰富;以丰富的市场渠道为基础,集成人员红外探测、光输出紫外监测、定时开关语音提醒、高强度可见/蓝光辅助等功能,面向定向应用场景,如肉类、水产、豆制品等冷链生产、运输、销售、存储等环节,针对黑暗、密闭、潮湿等微生物容易滋生的空间,发挥 LED 尺寸小外形容易工业设计的优势,开发激起消费兴趣、得到信息评估引发试用后,会被重复/推荐使用的产品。

#### 6.2.3 构建质量技术服务体系,推动上中下游协同创新,打造国际影响力

标准、计量、认证认可、检验检测是国际公认的国家质量技术基础(NQI),其支撑并服务于国民经济的各个领域,具有公共产品属性,技术性、专业性、系统性和国际性特征鲜明,更是保障国民经济有序运行的技术规则、促进科技创新的重要技术平台、提升国际竞争力的重要技术手段。其中,技术标准是保障产业健康、协调、快速发展的技术依据,是科技创新市场化、产业化的桥梁和纽带。

目前,UVC LED 产业化的辐射效率较低,离市场规模开始的要求仍然有一定的距离。与此同时,UVC LED 带来的测试准确性问题,有待计量机构、测试设备企业进一步的能力建设,包括基于宽禁带半导体材料,仅响应 UVC 波段的 AlGaN 紫外光电探测器的应用。测量机构方面,建立 UVC LED 器件/光源测试能力的单位数量仍然很少,与此同时,杀菌消毒

效果评价机构对 UVC LED 的认识仍然不足,产业亟需兼具 UVC LED、微生物测试能力的 检测机构。在产品形态未定时,标准化工作宜以"基础保障,应用引导,急需先行"的原则, 定位在术语和定义、技术报告、测试方法、通用技术规范等方面,以"公开、透明、协商一 致"的宗旨,推动技术融合,服务产业质量发展。

我国目前是世界上最大的半导体照明生产、应用和出口国。我国标准体系也相对完善,电磁兼容和安全强制性标准方面与 IEC 标准保持一致,性能、测试方法等标准具有中国特色,智能照明等创新应用标准走在世界前列;基于半导体照明产业的协同创新体系、应用市场优势,通过上、中、下游的产学研通力合作,相信我国的 UVC LED 产业将形成不同于以往"大而不强"的新的国际影响力。



#### 参考文献

- [1] GB 2716-2017 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量
- [2] GB 3838-2002 地表水环境质量标准
- [3] GB 4706.85—2008 家用和类似用途电器的安全 紫外线和红外线辐射皮肤器具的特殊要求
  - [4] GB 4789.1-2016 食品微生物学检验国家标准
  - [5] GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准
  - [6] GB 9663-1996 旅店业卫生标准
  - [7] GB 9664—1996 文化娱乐场所卫生标准
  - [8] GB 9665-1996 公共浴室卫生标准
  - [9] GB 9666-1996 理发店、美容店卫生标准
  - [10] GB 9667—1996 游泳场所卫生标准
  - [11] GB 9668-1996 体育馆卫生标准
  - [12] GB 9669—1996 图书馆、博物馆、美术馆、展览馆卫生标准
  - [13] GB 9670—1996 商场(店)书店卫生标准
  - [14] GB 9671-1996 医院候诊室卫生标准
  - [15] GB 9672—1996 公共交通等候室卫生标准
  - [16] GB 11607—1989 渔业水质标准
  - [17] GB 15981—1995 消毒与灭菌效果的评价方法与标准
  - [18] GB 15982-2012 医院消毒卫生标准
  - [19] GB 16153-1996 饭馆(餐厅)卫生标准
  - [20] GB/T 16422.1—2019 塑料 实验室光源暴露试验方法 第1部分: 总则
  - [21] GB/T 16422.3—2014 塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分: 荧光紫外灯
  - [22] GB/T 17220-1998 公共场所卫生监测技术规范
  - [23] GB/T 18204.3-2013 公共场所卫生检验方法 第3部分: 空气微生物
  - [24] GB/T 18204.4—2013 公共场所卫生检验方法 第4部分: 公共用品用具微生物
  - [25] GB/T 18204.5-2013 公共场所卫生检验方法 第5部分:集中空调通风系统
  - [26] GB 18466—2005 医疗机构水污染物排放标准
  - [27] GB 18596—2001 畜禽养殖业污染物排放标准
  - [28] GB 18918—2002 城镇污水处理厂污染物排放标准
  - [29] GB 19258—2012 紫外线杀菌灯
  - [30] GB/T 19837—2005 城市给排水紫外线消毒设备
  - [31] GB/T 27305-2008 食品安全管理体系 果汁和蔬菜汁类生产企业要求
  - [32] GB/T 24908—2014 普通照明用非定向自镇流LED灯性能要求
  - [33] GB 28235-2020 紫外线消毒器卫生要求
  - [34] GB 29921—2013 食品安全国家标准食品中致病菌限量
  - [35] GB 50333—2013 医院洁净手术部建筑技术规范
  - [36] CJ/T 204-2000 生活用水紫外线消毒器
  - [37] HJ 2522—2012 环境保护产品技术要求紫外线消毒装置
  - [38] JJG 879—2015 紫外辐射照度计
  - [39] WS/T 367-2012 医疗机构消毒技术规范
  - [40] 国家卫生部 《消毒技术规范》(2002)
  - [41] CAC/RCP 53-2003 新鲜水果和蔬菜卫生操作规程(Code Of Hygienic Practice

- For Fresh Fruits And Vegetables)
  - [42] CIE 187:2010 UV-C photocarcinogenesis risks from germicidal lamps
- [43] CIE 207:2014 Sensitivity of human skin to ultraviolet radiation, expressed as minimal erythema dose(MED)
- [44] ISO 4582:2017 Plastics—Determination of changes in colour and variations in properties after exposure to glass-filtered solar radiation, natural weathering or laboratory radiation sources
- [45] ISO 10640:2011 Plastics—Methodology for assessing polymer photoageing by FTIP and UV/visible spectroscopy
  - [46] ISO 15858:2016 UV-C devices safety information permissible human exposure
- [47] ISO/CIE 28077:2016 Photocarcinogenesis action spectrum(non-melanoma skin cancers)
- [48] ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). TLVs and BEIs; Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents; Biological Exposure Indices. Cincinnati, ACGIH.
- [49] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). ICNIRP Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Physics, 87(2), 171–186, (2004).
- [50] IES CR-2-20-V1. IES (Illuminating Engineering Society). IES Committee Report: Germicidal Ultraviolet (GUV) Frequently Asked Questions Authoring. IES Photobiology Committee.
- [51] Bolton J R and Cotton, C. A. (2008). *The Ultraviolet Disinfection Handbook. American Water Works Association*.
- [52] Eickmann, M., Gravemann, U., Handke, W., Tolksdorf, F., Reichenberg, S., Müller, T. H., & Seltsam, A. (2020). Inactivation of three emerging viruses severe acute respiratory syndrome coronavirus, Crimean—Congo haemorrhagic fever virus and Nipah virus in platelet concentrates by ultraviolet C light and in plasma by methylene blue plus visible light. *Vox Sanguinis*, 1–6. https://doi.org/10.1111/vox.12888
- [53] Geeraerd, A. H., Herremans, C. H., & Van Impe, J. F. (2000). Structural model requirements to describe microbial inactivation during a mild heat treatment. *International Journal of Food Microbiology*, 59(3), 185–209. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00362-7
  - [54] Gerald M.Sapers 等, 《果蔬微生物学》,中国轻工业出版社,2011年3月
- [55] Ham WT Jr., Mueller HA, Ruffolo JJ Jr., Guerry D III, Guerry RK. Action spectrum for retinal injury from near-ultraviolet radiation in the aphakic monkey. Am J Ophthalmol 93:299–306; 1982.
- [56] Hamerski W. Studies on the histochemical changes in experi- mental corneal lesions induced with ultraviolet radiation and on prevention of photophthalmia. Klin Oczna 39:537–542; 1969 (in Russian); English translation in Pol Med J 8:1469–1476; 1969.
- [57] Kneissl, M., Seong, T.-Y., Han, J., & Amano, H. (2019). The emergence and prospects of deep-ultraviolet light-emitting diode technologies. *Nature Photonics*, *13*, 233. https://doi.org/10.1038/s41566-019-0359-9
- [58] Oguma, K., Katayama, H., & Ohgaki, S. (2002). Photoreactivation of Escherichia coli after low- or medium-pressure UV disinfection determined by an endonuclease sensitive site assay. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(12), 6029–6035.

https://doi.org/10.1128/AEM.68.12.6029-6035.2002

- [59] Pirnie, M., Linden, K. G., & Malley, J. P. J. (2006). Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule. Environmental Protection, 2(11), 1–436.
- [60] Pitts DG, Cullen AP, Hacker PD. Ocular effects of ultraviolet radiation from 295 to 365 nm. Invest Ophthalmol Vis Sci 16:932–939; 1977.
- [61] Pitts DG. Ocular effects of radiant energy. In: Pitts DG, Kleinstein RN, eds. Environmental vision. Stoneham, MA: Butterworth-Heinemann; 1993: 151–220.
- [62] Rattanakul, S., & Oguma, K. (2018). Inactivation kinetics and efficiencies of UV-LEDs against Pseudomonas aeruginosa, Legionella pneumophila, and surrogate microorganisms. *Water Research*, *130*, 31–37. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.047
- [63] Ringvold A, Davanger M, Olsen EG, Changes of the cornea endothelium after ultraviolet radiation. Acta Ophthalmo- logica 60:41–53; 1982.
- [64] Severin, B. F., Suidan, M. T., & Engelbrecht, R. S. (1983). Kinetic modeling of U.V. disinfection of water. *Water Research*, *17*(11), 1669–1678. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354(83)90027-1
- [65] Yin, R., Dai, T., Avci, P., Jorge, A. E. S., De Melo, W. C. M. A., Vecchio, D., ... Hamblin, M. R. (2013). Light based anti-infectives: Ultraviolet C irradiation, photodynamic therapy, blue light, and beyond. *Current Opinion in Pharmacology*, *13*(5), 731–762. https://doi.org/10.1016/j.coph.2013.08.009
- [66] 刘丽等, 《短波紫外线对几种常见浅部真菌生长的影响》, 《中国真菌学杂志》, 2013年12月, 第8卷第6期, P334-P337。

