



中华人民共和国国家标准

GB/T 4797.3—2024

代替 GB/T4797.3—2014

环境条件分类 自然环境条件 第 3 部分:生物

Classification of environmental conditions—Environmental
conditions appearing in nature—Part 3: Living organisms

(IEC 60721-2-7:2018, Classification of environmental conditions—
Part 2-7: Environmental conditions appearing in nature—Fauna and flora, MOD)

2024-04-25发布

2024-11-01实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 Ⅲ

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 概述 1

5 有害生物的种类和危害 2

 5.1 真菌 2

 5.2 细菌 6

 5.3 昆虫 8

 5.4 啮齿动物 8

 5.5 藻类 9

 5.6 海洋生物 11

6 我国生物环境条件区域的划分 12

 6.1 划分原则 12

 6.2 B1区 12

 6.3 B2区 12

 6.4 B3区 13

 6.5 B4区 13

参考文献 14

表 1 抗真菌材料列表 4

表 2 潜在的真菌营养素材料清单 4

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。

本文件是 GB/T 4797 的第3部分。GB/T 4797 已经发布了以下部分：

- 环境条件分类 自然环境条件 温度和湿度(GB/T 4797.1—2018)；
- 环境条件分类 自然环境条件 气压(GB/T 4797.2—2017)；
- 环境条件分类 自然环境条件 第3部分 生物(GB/T 4797.3—2024)；
- 环境条件分类 自然环境条件 太阳辐射与温度(GB/T 4797.4—2019)；
- 环境条件分类 自然环境条件 降水和风(GB/T 4797.5—2017)；
- 环境条件分类 自然环境条件 尘、沙、盐雾(GB/T 4797.6—2013)；
- 电工电子产品环境条件分类 自然环境条件 地震振动和冲击(GB/T 4797.7—2008)；
- 环境条件分类 自然环境条件 贮存、运输和使用过程中测得的冲击和振动数据(GB/T 4797.9—2021)。

本文件代替 GB/T 4797.3—2014《电工电子产品 自然环境条件 生物》，与 GB/T 4797.3—2014 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 将“生物对电工电子产品的主要影响”更改为“概述”，概括生物对电工电子产品的影响(见第4章，2014年版的第3章)；
- b) 删除了“动物群和植物群的出现”(见2014年版的第4章)；
- c) “有危害的生物种类与分布”内容修改为“有害生物的种类和危害”(见第5章，2014年版的第5章)；
- d) 合并“生物环境条件的划分原则”和“生物环境条件区域的划分”为“我国生物环境条件区域的划分”，并增加了藻类和海洋生物的区别(见第6章，2014年版的第6章、第7章)。

本文件修改采用 IEC 60721-2-7: 2018《环境条件分类 第2-7部分：自然环境条件 动物群和植物群》。

本文件与 IEC 60721-2-7: 2018 的技术差异及其原因如下：

- 增加了真菌在水中生长的描述(见5.1.2)，更加全面描述了真菌在水中的生长状况；
- 删除了“世界范围内真菌分布图”(见图1)，该图界定不清晰，且已增加我国生物条件区域的划分；
- 增加了真菌对硅橡胶材料的影响(见5.1.4)，我国特殊环境条件会加速真菌对硅橡胶的影响；
- 增加了藻类具体的种类和危害(见5.5)，该种生物类型对我国电工电子产品的影响也非常重要；
- 增加了我国生物环境条件区域的划分(见第6章)，为我国产品的设计提供了重要信息，是选取相关环境试验方法的依据。

本文件做了下列编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《环境条件分类 自然环境条件 第3部分：生物》。

请注意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。

本文件由全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会(SAC/TC8)提出并归口。

本文件起草单位：中国电器科学研究院股份有限公司、清华大学深圳国际研究生院、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、上海市质量监督检验技术研究院、深圳供电局有限公司、中国南方电网有

限责任公司超高压输电公司电力科研院、海南电网有限责任公司输电运检分公司、沈阳航电检测技术有限公司、深圳职业技术大学、西门子电力自动化有限公司、广州大学、中国电力科学研究院有限公司、华南理工大学。

本文件主要起草人:刘鑫、秦汉军、贾志东、晏年平、王婷婷、吕启深、韦晓星、夏云峰、孔祥宇、王希林、陈田、张丛光、付俊华、徐忠根、许毅、邓禹、王小享、申子魁。

本文件于 1986年首次发布,2014年第一次修订,本次为第二次修订。

引 言

环境条件作为产品试验和应用时选择适当的严酷程度的背景材料,对电工电子产品的评价、使用和安全都具有重要意义。对于不同自然环境条件(如温度和湿度、气压、降水和风),给出单独的环境条件及对产品可能产生的影响。GB/T 4797拟由以下 10个部分组成:

- 第 1部分:温度和湿度。目的在于给出以温度和湿度参数表示的户外气候类型。
- 第 2部分:气压。目的在于给出 自然环境下存在的不同海拔的气压值。
- 第 3部分:生物。目的在于给出 自然环境条件下影响电工电子产品的生物环境条件。
- 第 4部分:太阳辐射和温度。目的在于给出以太阳辐射地区划分的气候类型。
- 第 5部分:降水和风。目的在于给出与电工电子产品相关的降水和风的特性。
- 第 6部分:尘、沙、盐雾。目的在于给出 自然界中出现的尘、沙、盐雾的特性。
- 第 7部分:地震振动和冲击。目的在于给出天然地震振动和冲击下的环境条件。
- 第 9部分:贮存、运输和使用过程中测得的冲击和振动数据。目的在于给出冲击和震动的基本参数和数值。
- 第 10部分:雷电。目的在于给出 自然环境下影响电工电子产品的雷电环境条件。
- 第 11部分:凝露。目的在于给出 自然环境条件下影响电工电子产品的凝露环境条件。

本次对 GB/T 4797.3 的修订,增加了我国生物环境条件区域的划分,提高了标准的适用性。修订后与国际标准的水平保持一致,有利于消除技术性贸易壁垒,更好的促进贸易、交流及技术合作。

环境条件分类 自然环境条件

第 3 部分:生物

1 范围

本文件给出了 自然环境条件下影响电工电子产品的生物环境条件。在产品的生命周期中,几乎任何时候都可能受到生物的影响或损害。此外,有许多生物具有不同的攻击行为。

本文件阐述了生物对产品贮存、运输或使用产生损害的所有区域。一般来说,动物在自然环境的露天场所和人为环境场所都会对产品造成损坏,例如在仓库或建筑物中。然而,植物主要在露天场所对产品造成损害。真菌和细菌既可存在于露天场所,也存在于仓库或建筑中。

本文件适用于产品选择合适的生物条件时的背景材料。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

ISO 和 IEC维护的用于标准化的术语数据库网址如下:

IEC电子百科:<http://www.electropedia.org/>

ISO在线浏览平台:<http://www.iso.org/obp>

4 概述

本文件主要考虑的是生物对电工电子产品的影响,包括真菌、细菌以及昆虫、啮齿动物、鸟类、藻类和海洋生物。由于某些生物因素危害较弱,本文件未考虑这些生物因素造成的危害,例如,某些植物分泌物的腐蚀作用、较高树木生长产生的机械作用(毁坏建筑物的地基或折断电缆),以及类似于猴子、大象等动物造成的损坏,飞行中的鸟类对飞机造成危害等。此外,本文件也未考虑上述生物的作用形式,例如,啮齿动物和昆虫有时会造成化学腐蚀或污染。

对产品可能产生破坏的生物出现频率,取决于温度与湿度条件。温暖潮湿的气候区域是生物尤其是昆虫和藻类、真菌、细菌等微生物的良好生存生长环境。此外,湿润或潮湿的建筑物场所,也适合啮齿动物、昆虫和微生物生存生长。

生物可能会以各种方式影响产品,其中重要的影响主要包括。

- a) 物理攻击劣化:产品的功能可受到生物的物理攻击的影响。动物能损坏产品的材料,特别是啮齿动物和昆虫,通过以产品材料为食物,咬啃、蛀坏、咀嚼和在材料中打洞。特别要重视白蚁会以此方式对产品材料造成严重破坏。易于遭受此类侵袭的材料包括木材、纸张、皮革、纺织品等天然材料,以及塑料(包括人造橡胶)甚至某些金属(锡和铅)。
- b) 沉积物引起的劣化:产品的功能可受到源于动植物和微生物的沉积物的影响。这些表面沉积

物通过化学作用和机械作用影响产品。动物,尤其是昆虫、啮齿类、鸟类等产生的沉积物,可包括动物的本身、巢穴(窝)、饲养原料以及排泄物、酶等代谢产物。各种植物引起的沉积,包括植物的各部分(叶、花、种子、果实等)、藻类、真菌或细菌及其代谢物的生长层等。

5 有害生物的种类和危害

5.1 真菌

5.1.1 背景材料

本文件中,真菌用于表示大量多样化群体的微生物,已知种类大约有十万个。大多数真菌都很小,只能借助显微镜观察。虽然在生物学上并没有确切定义“真菌”和“霉菌”这两个术语,但是生物学家和其他领域的人员都用它们来指代微小非寄生真菌。

一般来说,真菌可分为两部分:营养体和繁殖体。营养体也被称为菌丝,为单条管状细丝,直径通常为 $2\text{ }\mu\text{m}$ 到 $20\text{ }\mu\text{m}$ 之间,长度也可达到几厘米。在低等真菌中,菌丝仅是无隔菌丝;其他真菌的菌丝被细胞壁(隔膜)分为不同的细胞。这些菌丝统称为菌丝体。菌丝体与生殖孢子一起,通常可见于发霉的面包、鞋子和橘子等。

在绝大多数情况下,繁殖体是孢子。通常,孢子是单细胞的和极小的,但偶尔也存在长度为 $500\text{ }\mu\text{m}$ 的大孢子。它们可直接通过菌丝生成,或由专门产生孢子的部位生成,如蘑菇的子实体。按功能划分,孢子可分为两类,一类是繁殖速度很快但是对环境适应性非常差的孢子,另一类是数量相对较少但对环境适应性较强的孢子。同一生物体可产生不同类别的孢子,前者使真菌能够在良好的生长条件下迅速传播,后者使其能够在冬季或干旱中存活,并且已知可在干燥条件下存活多年。

5.1.2 生长和生存要素

为了适应环境或食物供应的变化,大多数种类的真菌可能通过几代的变异略微改变它们的特点和需求。经历的时间有可能很短,在大多数情况下,孢子到新孢子的整个周期为几天。此外,宜注意的是,孢子的繁殖和扩散所需的条件通常比生长和生存更为苛刻。

适合真菌生长的最低温、最高温和最适温度精确值不同专家存在争议。这可能是因为这些数值因种类的不同而有差异。但是,一般来说,生长的最低温度为 $2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高温度为 $40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,最适温度为 $22\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。此外,还有一些真菌可生活在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,已发现真菌存活的最高温度为 $62\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。同时,真菌可以以休眠状态在更加极端恶劣的环境下存活。

几乎所有真菌生长的最佳相对湿度为 $95\% \sim 100\%$,但如果浸泡在水中,大部分真菌不会生长。任何低于这个最佳环境湿度都会引起生长速率的降低,很少种类的真菌能在相对湿度小于 70% 的环境中生长。理想的真菌生长条件存在于静止的空气中。

能被作为食物吸收的合适碳源是真菌生长的必要条件。几乎所有天然存在的含碳化合物以及很多有类似结构的合成有机化合物都可作为真菌食物。所有的真菌可利用有机氮源,少数还可利用无机氮源,如氨。氮对于真菌的生长是必不可少的。

大部分真菌是严格的需氧菌,就是说它们不能生长在一个完全缺乏氧气的地方。然而,并非所有真菌都需要空气中的氧气才能生存。少数真菌可生长在水中,通常选择在靠近水面几厘米的地方生长,因为那里的氧气浓度较高,对生长更为有利。此外,有部分菌类甚至能在微氧环境下生长,表现出更强的生存适应性。它们并不完全依赖于氧气,可在氧气含量极低的环境中进行繁殖和生长。真菌在水中的分布由浅到深都有。在靠近水面的地方,会找到一些严格的需氧菌;在稍微深一些的地方,会遇到能在微氧环境中生存的菌类。不论在哪个深度,真菌都能找到适合它们生长的环境。

真菌生长所需要的其他元素包括硫(如硫酸盐)、钾、磷(如磷酸盐)和镁。在某些情况下,微量的铁、锌、锰、钼或钙也是必需的。某些真菌生长还需要一定量的维生素。

一般情况下,日光对真菌生长无影响,但普遍认为紫外线可抑制大部分真菌的生长,在极少数情况下,日光甚至会促进生长。但是,对很多种类孢子来说,其产生和传播依赖于光。

大部分真菌最适宜生长在 pH 值为 5~6.5 的微酸性介质中,但极少种类真菌可生活在 pH 值小于 3 或者 pH 值大于 9 的介质中。

5.1.3 生长环境和地理分布

由于真菌能以休眠状态在不良的生长环境中生存,并能逐渐进化到在更加极端的环境下生存,又由于一些新真菌种类还在识别中,因此不可能确定真菌生长的确切地理区域。但是,也有一定的趋势。

大部分真菌存在于地球表面的土壤、水和空气中,而另一些真菌则存在于活的或者死的动植物中。在空气中发现的真菌并不在空气中生长,而是以孢子的形式存在。大多数真菌生活在土壤中,只有大约 2% 生活在水里,在这两种情况下,它们都仅生长在表面下几厘米的地方。

尽管因真菌而劣化的情况并不局限于热带地区,但绝大多数种类真菌生长的最佳条件是在潮湿的热带区域。尽管速率没那么快,同样的劣化还可发生在温带地区。至少一种真菌常在北极地区以孢子的形式被发现。

有利于真菌生长的条件很容易在建筑或设备内被人为创造出来。那些寄生在特定动物或植物上的是少数限于地理区域的几种菌种。基于世界上大约 2 000 个气象站得到的相对湿度和温度的数据,分析得到的结果如下。

- a) 区域 A:包括一年中至少有一个月在中午 12 点到 14 点的时间内平均月相对湿度为 70%~75%,且在相同时间内月平均最低温度不低于 15℃的地区。
- b) 区域 B:包括等效相对湿度在 75%~80%、和区域 A 有相同的温度的地区。
- c) 区域 C:包括等效相对湿度大于 80%、和区域 A 有相同温度的地区。

宜注意,上述气候条件不考虑前面提到的其他自然发生的要素,例如空气流。它也不涵盖可人为诱导有利条件的情况,例如建筑物或容器内。然而,在这些限制内,它为真菌对电工电子产品的影响提供了指导。

5.1.4 真菌对材料的影响

植物可利用叶绿素开展光合作用,与大多数植物不同,真菌不含叶绿素,是依赖于它们寄生的物质。细胞壁的结构导致真菌仅在溶液中吸收养分,因此,真菌通过菌丝分泌酶,将食物转化为可溶性形式易于吸收。

有三种方式可造成电工电子产品损坏。每种损坏都可独立发生,或与其他一种或两种相关联。

—材料可能是真菌的食物,在这种情况下,材料会逐渐损耗。

—真菌的代谢物以汁液形式排出,其中许多是腐蚀性的,并且对真菌生长的基材造成损坏。因此,尽管它不是食物来源,但真菌可能损坏材料。例如,已知在玻璃上印刷的微小杂质,对玻璃表面腐蚀性代谢物的蚀刻有支持作用。此外,模具涂层具有保持水分和延缓干燥过程的效果。

—即使真菌没有对设备任何元件材料造成损坏,仍可能会影响设备的正常使用,例如真菌污染光学设备,以及在电气设备中形成异常放电。

抑制真菌生长的优选方法是选用真菌惰性材料,也可处理潜在的真菌营养物质或采用气密密封方法。表 1 列出了已知具有抗真菌生长的材料,而表 2 列出了潜在的真菌营养物质材料。

表 1 抗真菌材料列表

抗真菌材料	
丙烯酸类	聚碳酸酯
丙烯腈-苯乙烯	聚酯
丙烯腈-氯化乙烯-氯化物共聚物	聚酯-玻璃纤维层压板
石棉	聚乙烯,高密度(>0.94g/cm³)
陶瓷	聚对苯二甲酸乙二醇酯
氯化聚醚	聚酰胺
氟化乙烯丙烯共聚物	聚三氟氯乙烯
碳氟化物	聚丙烯
玻璃	聚苯乙烯
金属	聚砒
云母	聚四氟乙烯
层压塑料:硅胶玻璃纤维	聚偏二氯乙烯
层压塑料:酚醛-尼龙纤维	硅树脂
己二烯酞酸酯	硅氧烷-聚烯烃
聚丙烯腈	硅氧烷-聚苯乙烯
聚酰胺	—

表 2 潜在的真菌营养素材料清单

真菌营养素材料	
ABS(丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯)	聚乙烯,低密度(<0.94g/cm³)
乙酰树脂	聚甲基丙烯酸甲酯
醋酸纤维素	聚氨酯(酯类类型特别容易受到影响)
乙酸丁酸纤维素	
环氧玻璃纤维复合材料	聚甘油蓖麻酸酯
环氧树脂	聚氯乙烯
润滑油	聚氧乙烯脂
三聚氰胺甲醛	聚氟乙烯
有机硫化物	橡胶,天然的和人工合成的
苯酚-甲醛	尿素甲醛
聚二氯苯乙烯	—

真菌生长对许多材料的破坏是已知的。其中部分影响如下所示。

- a) 木材:与地面接触的木材特别容易被真菌腐烂。然而,如果保存在干燥的、通风良好的地面,木材会抵抗真菌的生长,当木材含水率小于 20%时,其根本不会受到真菌影响。抵抗攻击能力因木材种类而异,而且芯材总是比边材更不易受到攻击。在使用中,木材通常以某种方式涂覆或浸渍。这可能会改变其对真菌攻击的抵抗力。许多真菌对它们生活的木材造成很少的机械损坏,但可使其褪色。
- b) 纸张和硬纸板:纸张、纸板和类似产品都容易受到攻击。其基本成分为纤维素,以及在生产过程中添加其他的物质,例如淀粉和明胶。对其影响主要为产生表面变色的斑块,导致纸张和纸板完全破损。真菌生长发生在吸收水分后,并且它的破坏效应仅次于潮气。
- c) 涂料和清漆:涂料和清漆由油脂、纤维素衍生物、溶剂、增塑剂、稀释剂等复杂混合物制成,其中一些成分可能易于受到影响。几乎所有涂料在有利条件下都会生长真菌。部分具有抵抗真菌生长的能力,但也已知一些涂料在冷藏室中仍会产生真菌。涂料或清漆是否受到真菌攻击取决于它涂刷的材料和表面的类型,以及气候因素,如阳光和水分。
- d) 天然纤维:天然纤维素纤维,例如棉、剑麻、大麻、亚麻和黄麻都极易受真菌的影响。然而,蛋白纤维,例如羊毛和蚕丝不易受真菌影响。
- e) 合成纤维:合成纤维对抗真菌的表现有些不同,但通常优于天然纤维。其中乙酸纤维素、再生蛋白质、聚酰胺、聚酯、聚丙烯腈、聚偏二氯乙烯、氯乙烯腈共聚物、氯乙烯-乙酸乙烯酯共聚物和玻璃均具有优异的抗真菌性能,或是真菌惰性材料。纤维可能添加或涂覆颜料,合成纤维可能还有其他可支持真菌生长的添加剂[见 g)]。在使用中,当这些纤维以布或者绳索的形式存在时,可很容易地保持水分或杂质,有利于真菌的生长。
- f) 皮革:鞣制皮革在其表面上普遍含有吸湿物质,例如糊精、淀粉、甘油或糖,其通常用于敷料,并且可支持真菌的生长。类似地,用于润滑皮革的润滑脂、油和乳液也可能支持真菌生长。通常,铬鞣皮革比植物鞣革更耐受。即使真菌在皮革表面大量生长,但真菌也很少明显攻击皮革。然而,如果皮革长时间暴露在真菌中,真菌分泌的酶将倾向于消化皮革中的脂肪、糖和碳水化合物,释放各种有机酸。随着时间推移,这些酸可能与植物单宁发生反应,导致物理劣化,包括强度下降和表面产生裂纹。
- g) 硅橡胶:硅橡胶一般对真菌的抵抗能力较强,这是因为它的化学稳定性良好,不易为微生物分解或利用。然而,特殊的环境条件,例如持续的高湿度、高温或含有大量营养物质的环境,可能会促使真菌在硅橡胶表面生长。在硅橡胶的表面粗糙或有裂缝时,真菌的菌丝会在生长过程中深入裂缝,在真菌胞外分泌物的配合下使硅橡胶老化现象加重,裂隙加深。在制造硅橡胶产品的过程中,可能会添加一些增塑剂、填充剂、色素等添加剂,这些添加剂的种类和使用量可能会影响硅橡胶的抗真菌能力。其中,一些含有碳和氢的有机添加剂会被真菌利用,进一步降低硅橡胶的抗真菌能力。
- h) 塑料和橡胶:塑料和橡胶材料的劣化与木材等其他材料的方式不同。塑料和橡胶大多含有至少一种添加剂,例如:可降低塑料天然脆性的增塑剂、增加刚性的树脂、着色的颜料、填料、稳定剂等。每种添加剂都会为最终产品的特性提供一种作用,每种添加剂的生物抗性都会对最终产品的生物抗性有不同的影响。因此,预测某一种塑料或橡胶的抗真菌攻击能力,不仅需要掌握其材料本身的特性,而且还需要掌握其所使用的添加剂,这部分因素可能占 50%权重。有时环境湿度对塑料材料的恶性影响比真菌更大,另一方面真菌生长不可能脱离水分,因此,湿度和真菌哪个是对塑料影响更大的因素,是存在争议的。有些调研中,在部分本身不会滋生真菌的塑料上发现了真菌,仅是由于塑料的表面污秽而滋生的,不会损坏塑料本身。

- i) 玻璃:玻璃不是真菌养料的来源,但其表面很容易覆盖有机颗粒粘附的水分。这将有利于真菌的生长,甚至可蚀刻表面,从而影响光学仪器的有效利用。此外,经常用于将镜片粘在一起的加拿大香脂也很容易受到真菌影响。
- j) 其他材料:其他可能被攻击的有机材料包括大多数食品、黏合剂、胶水、油墨等。还有一些碳氢化合物劣化的报道,特别是喷射燃料;在这种情况下,真菌与细菌结合,并且精确的劣化方式尚不清楚。在喷气燃料/水界面生长的“煤油真菌”的囊孢子酸酯的代谢产物对铝合金燃料箱具有腐蚀性。

5.2 细菌

5.2.1 背景材料

细菌以各种形状和形式出现。它们通常是单细胞生物,长度为 $0.5\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$,直径为 $0.3\ \mu\text{m} \sim 2\ \mu\text{m}$ 。一些细菌具有柔性的毛发状突起,使它们可移动,而其他突起可在其生长的媒介中携带。在某些情况下,细菌由凝胶状护套或胶囊获得保护,这在其他生物不存在。

成熟细胞可通过简单地一分为二进行繁殖,之后,这两个细胞可能再次分裂,间隔时间短至 15 min。许多细菌也可产生孢子。然而,与真菌不同,这些孢子在细菌细胞内产生,通常每个细胞为一个孢子。这些孢子比普通细胞更耐热和干燥,并且已知它们在干燥状态下存活多年。

5.2.2 生长和存活因素

由于其尺寸微小,与真菌的相似性及其与同一环境的关联,细菌的一些特点和行为尚未被分离或完全确定。此外,细菌可进化和适应新的环境条件。

细菌对温度没有真菌敏感。极端生长温度是一个存在争论的问题,但通常适宜温度范围为 $-3\ ^\circ\text{C}$ 至 $+75\ ^\circ\text{C}$ 。与真菌相同,它们也可在静态状态下在更极端的环境中生存。细菌的最佳生长温度通常高于真菌。它们生长通常需要水的存在,并且即使淹没在水中也会快速生长。因此,细菌的生长环境比大多数真菌的生长环境更加潮湿。

许多细菌只能吸收有机形式的碳。然而,部分细菌可在缺乏有机材料的培养基中生长,并使用二氧化碳作为其碳源。各种细菌可利用有机和/或无机氮源。部分细菌是嗜氧的,部分细菌是厌氧的,只能在没有氧气的情况下生长,而有的细菌在有氧或无氧的情况下均可生长。

经证实,所有细菌的生长都需维生素和相关的化合物,而其他的被发现只需要一两种物质。部分细菌可在缺乏有机养料的培养基中生长,可从无机化合物的氧化中获得它们的能量需求,如氨、各种硫化物和一些铁的化合物。

大多数细菌在 pH6 至 pH8 的范围内活跃,但部分可在较高或更低的 pH 值中存活。

5.2.3 栖息地

细菌存在于土壤、自然水体、空气和动植物体内,细菌是动植物疾病的原因。大多数细菌生活在土壤中,其通常比真菌处于更潮湿、略微碱性的条件下,并能够在更恶劣的极端环境中生存。

不可能精确定义细菌生长的地理区域,只有寄生在特定植物和动物身上的细菌才在地理上受到限制。

5.2.4 细菌对材料的影响

与真菌一样,细菌不含有叶绿素,其分泌酶将食物消化成可溶状态,然后通过细胞壁消化食物,并且细菌也可进化以适应新环境的变化。

细菌通常尺寸较小而无法损害设备的运行。然而,它们可直接将材料变成食物,从而损坏它。此外,它们可在从化学反应或其代谢物中获得能量时造成腐蚀。它们主要生活在靠近地表附近的土壤中,可能会导致大部分产品损坏。即便如此,通常认为,在大多数情况下,真菌引起的损害比细菌更多。

木材、皮革、纸制品和大多数相关材料,例如涂胶、胶水均易于受到不同程度的细菌攻击。动物或植物来源的天然纤维都会受到细菌的攻击。虽然与真菌的影响相似,细菌对合成纤维的影响尚不清楚,即粘胶人造丝、硝酸纤维素和其他一些物质都很容易发生重硫酸盐基化。大多数涂料和清漆受细菌的攻击,一些橡胶和塑料也是如此。然而,后者的劣化通常仅在某些特殊的环境中发生,例如永久淹没在水中。与真菌一样,细菌攻击的是材料的添加剂之一,而不是基料本身。石油燃料和绝缘油属于碳氢化合物,它们会被细菌腐蚀。

材料的变色通常是最早反映细菌影响的表征。然而,在某些情况下,材料的绝缘电阻降低会成为细菌影响最早的表征,例如绝缘油、复合绝缘子和电缆的橡胶保护层。

细菌腐蚀是用来描述由于细菌从化学作用和细菌代谢物中获得其能量需求而产生腐蚀的术语。在这些情况下,材料不用作食物。黑色金属最容易被腐蚀,但也有破坏石头、橡胶和有色金属的例子。生物体诱导化学反应,例如氧化,并使用由此释放的化学能。虽然这种腐蚀方式几乎是真菌腐蚀,但有时也适用于霉菌。

细菌腐蚀可能是以下类型之一。

a) 酸形成引起的腐蚀

- 1) 其中一种主要的腐蚀形式可归因于无机硫化化合物被硫杆菌氧化形成硫酸。这些在土壤和水中很常见。在该过程中,硫杆菌产生并且可在最高 12% 硫酸的溶液中存活。钢铁和混凝土管、建筑物和硫化橡胶是被此腐蚀的对象。
- 2) 另一种形式的腐蚀是由铁杆菌将铁黄铁矿氧化为硫酸引起的,这些通常与硫杆菌相关联。噬铁菌是金矿和烟煤煤矿中酸性水腐蚀泵送机的原因。
- 3) 纤维素细菌,将纤维素材料发酵生成有机酸,导致称为“苯酚腐蚀”的腐蚀。这可能导致贮存或掩埋的引线和其他电缆以及纸张或其他纤维素材料的刻蚀和点蚀。

b) 中性 pH值的腐蚀

- 1) 腐蚀通常是由含有活性氢化酶的细菌引起的阴极去极化引起。这种类型的腐蚀较复杂,确切的机理仍待讨论,但导致原因已达成共识,是硫酸盐还原菌引起的。这些细菌是厌氧的,通常存在于积水的土壤或水中,其中一些在 40 °C 左右的温度下生存和繁衍。主要引起积水土壤、电力变压器、热水系统等钢铁的腐蚀。
- 2) 腐蚀通常发生在供水管道中不同季节性差异引起的通气后,并且可归因于铁化菌和其他微生物形成的沉积物。这些沉积物形成不可溶性或部分可溶性的产物,可以以薄膜或结节的形式粘附在金属表面上,例如金属给水管道的内部。
- 3) 另一种形式的腐蚀是由于细菌代谢导致。某些细菌产生的物质是其消化系统的代谢物,并可能具有腐蚀性。这种形式的腐蚀可发生在远离细菌生长地点的地方,例如,虽然环境温度在 120 °C ~ 175 °C,高压蒸汽装置中的铜加热器和阀门仍表现出的硫化物腐蚀。在冷却水中生长的细菌形成了硫化物,而这些硫化物在沸水中脱氧,从而形成腐蚀性物质硫化氢。

腐蚀也可能因为为细菌提供食物的保护涂层的缺失而发生。例如,土壤中的细菌去除沥青、蜡质或聚酯涂层。此外,同一区域内几种不同类型细菌的共同作用可能会增加腐蚀。

5.3 昆虫

5.3.1 背景材料

有超过 50 万种不同种类的昆虫,具有广泛的饮食习惯和行为模式。因此,许多由动物或植物生产的材料以及类似结构的合成材料生产的产品会被昆虫损坏或破坏。与微生物不同,昆虫的主要的损坏方式是机械损坏。

昆虫造成的主要有两类损坏。第一种是昆虫用于筑巢等使用的难以分解的材料损坏,或者在昆虫和其目标之间的障碍,或在寻找食物时产生的破坏。第二种损坏是把材料作为食物,例如木材、纸张、人造纤维和其他纤维素衍生物。

本文件中涉及的昆虫的寿命从两个月到二十年不等。它们在幼虫期或成熟期可具有破坏性,或都具有破坏性。

5.3.2 生长环境

大多数破坏性昆虫在地理上受到其天然食物供应的限制。然而,由于热带地区物产丰富,因此昆虫的危害最大。

主要存在于热带地区的白蚁通常被认定为所有昆虫中最具破坏性的。其他主要存在于热带地区的昆虫包括泥蜂、灯蛾毛虫、木蜂和某些甲虫、飞蛾、蚂蚁和蜘蛛(蛛形纲)。

蟑螂、蟋蟀、蚱蜢、衣蛾、粉蠹甲虫、红缘皮蠹、皮甲虫、蠹虫、蚂蚁、黄蜂,以及以仓储式谷物和其他物质为食物的昆虫分布的更为广泛。在大多数情况下,昆虫的巢穴在其损害的材料内部。

5.3.3 昆虫对材料的影响

在地面、地下或排水、通风不良或不卫生的建筑物中,易受昆虫攻击,可能受到昆虫损坏的动物或植物原料制成的材料包括以下内容。

- a) 木制品特别容易受到白蚁的损害,白蚁以纤维质为食物。同时粉蠹甲虫的幼虫以木材为食。在热带地区,这两种昆虫造成的损害可能很严重。
- b) 纸张会受到许多昆虫的损害,尤其是白蚁、蟑螂、蠹虫和书蛀虫。
- c) 纺织品和绳索可被许多昆虫损坏,包括衣蛾、灯蛾毛虫、蠹虫等。
- d) 皮革制品会受到白蚁、皮甲虫和红缘皮蠹等的破坏。

一般来说,除非材料阻碍昆虫觅食,非动植物制成的材料很少被昆虫损坏。例如,如果塑料和橡胶阻碍红蚂蚁和白蚁觅食,它们可穿透大多数的塑料和橡胶。然而,这些材料本身不是昆虫的食物。实际上,通过一系列的试验,唯一没有被破坏的塑料是醋酸纤维素。同理,油漆和清漆可能也会受到白蚁的破坏。

5.4 啮齿动物

5.4.1 背景材料

在对产品造成破坏的哺乳动物中,啮齿类动物是最常见的。它们从 15 g 的小鼠到 5 kg 甚至更重的大农田害鼠,尺寸不一。它们的都有适合啃咬的凿状门牙,因此它们在觅食或者寻找筑巢材料时会对材料造成损害。它们遍布世界各地,甚至在北极地区。

5.4.2 啮齿动物对材料的影响

许多材料都会受到大鼠、小鼠和其他啮齿动物的损害。它们能通过粪便和尿液破坏纺织品,或者通

过撕碎布料来筑巢。它们可在木头、纸板或塑料包装盒上啃洞,这使得包装内部的产品暴露在潮湿、昆虫、霉菌和真菌的环境中。

在危险的环境下,啮齿类动物会在寻找食物时破坏大部分较软的材料,甚至某些金属。但是对于塑料、纸张、木材等,啮齿动物是否作为食物来源并没有得到共识。

5.5 藻类

5.5.1 背景材料

藻类生物多样性极高,具有五万种以上的种类。它们广泛分布在世界各地,其繁殖方式多样且生活环境广泛。与其他生物如昆虫等不同,藻类主要通过化学反应与环境进行交互。

藻类的体型大小非常多样,从微小的单细胞藻类到巨大的多细胞藻类,其规模跨度可从微米级别到数米长。这种体型差异在自然界中形成了广泛的生态位。单细胞藻类,一般为微米级别,如绿藻、硅藻和蓝绿藻等,尽管体积小,但它们的数量众多,能够构成复杂的生物群落,这些群落在全球碳循环中起着重要的作用。多细胞藻类,如海藻和红藻,体型通常较大,长可达数米。无论是单细胞藻类还是多细胞藻类,它们都有形成生物膜的能力。生物膜是一种由微生物紧密排列并附着在各种表面上的生物结构,这种结构不仅可保护藻类免受环境压力,也可帮助藻类更好地吸收和利用环境中的养分。这种体型和生物膜形成的特性使得藻类能在各种环境中生存和繁衍,展现出了较强的环境适应性。

藻类细胞中的叶绿体是进行光合作用的关键结构,这使得它们能够像植物一样,通过吸收光能将无机物质转化为有机物质,并释放氧气。这个过程不仅提供了藻类生长发展的能量来源,也是全球碳循环和氧气生成的重要途径。在光合作用的过程中,藻类会产生大量的有机酸和其他化学物质。这些化学物质是藻类进行生物合成的原料,用于生成能量、构建细胞结构、以及进行各种生理过程。

藻类可通过无性繁殖和有性繁殖的方式生产新的生物体。无性繁殖通常通过分裂、孢子形成或者碎片再生等方式进行,其中,分裂是最为常见的,一些藻类细胞可将自己的遗传物质复制,然后分裂成两个或多个新的藻类细胞。另一方面,孢子形成和碎片再生是某些特定种类的藻类采用的繁殖方式,这些方式可在短时间内产生大量新的生物体。有性繁殖则通常通过配子的形成和融合进行,这涉及到雌雄配子的生成,这些配子可是来自同一细胞的异型配子,也可是来自不同细胞的同型配子。雌雄配子会通过化学物质的吸引融合形成一个新的细胞,并发展成为一个新的藻类。藻类的生命周期中有各种阶段,包括生长期、成熟期和繁殖期等。在每个阶段,藻类对环境的影响方式可能会有所不同。例如,在生长期和成熟期,藻类通常会积极吸收水体中的养分,进行光合作用,并释放氧气。而在繁殖期,藻类可能会释放大量的配子或孢子到水体中,这可能会影响到水体的生态平衡。同时,某些藻类在繁殖期也可能会释放出有毒的化学物质,对环境或其他生物产生影响。这些都是藻类在其生命周期中的不同阶段可能产生的环境影响。

藻类的适应性是其生物特性中最为显著的一项。它们的生命周期可从短至几天到长至几年不等,具有特殊的种类差异和适应性广泛性。这表明藻类能在不同的季节和环境条件下生存和繁殖。藻类展现出的这种极高的适应性使它们能够在全球范围内的各种环境中生存,从深海到高山,从寒带到热带。在这些环境中,藻类不仅能够生存,而且能够繁殖和演化出适应特定环境的新种。此外,藻类的环境适应性也使它们在生物界中占据了重要的位置。在一些环境中,藻类是基础生产者,提供食物链的基础,同时还能通过光合作用为环境提供氧气。在其他环境中,藻类也可能作为生态系统中的重要组成部分,与其他生物共同构建出复杂的生态网络。

5.5.2 生长和生存要素

藻类的生长活力与温度、相对湿度、碳源、氧气/二氧化碳、养分供应和 pH 值等多方面因素紧密相

关,特别是在热带地区,由于其所需的湿润和温暖的环境条件得以充分满足,藻类的生活活动更为旺盛。

适宜温度下,藻类的生命活动更为旺盛,生长繁殖的速度也会明显加快。在 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 的最佳生长温度范围内,藻类细胞内的各种生化反应能够在最佳的速度下进行,包括光合作用、呼吸作用和细胞分裂等。因此,藻类的生物量和数量会在这个温度范围内快速增加。此外,温度适宜还有助于藻类进行有效的有性和无性繁殖。在最佳生长温度下,无性繁殖如孢子形成及细胞分裂等更为频繁,有性繁殖如配子结合、孢子形成等也更容易发生。这使得藻类在短时间内可大量增殖,进一步提高其在生态系统中的数量和生物量。同时,适宜的温度也有助于藻类对环境适应性的增强。在温度适宜的环境中,藻类能更好地适应环境变化,如光照、营养盐等环境因子的变化,这有助于藻类在各种环境条件下的生存和发展。

相对湿度对藻类的生存和发展具有重要的影响,适宜的相对湿度下藻类的生命活动能更好地进行,生长繁殖的速度也会显著加快。80%以上的相对湿度为藻类提供了必要的水分,支持细胞内部生命活动的进行,如光合作用、营养物质的吸收和代谢等。对于生活在水体中的藻类而言,相对湿度主要影响它们的气体交换和水分吸收。同时,相对湿度也影响着藻类的水分吸收,有助于维持细胞的正常水分状态,保持细胞内生化反应的正常进行。

藻类依赖光合作用来获取能量,碳源、氧气是此过程中不可或缺的元素。藻类对二氧化碳的吸收能力很强,且在二氧化碳充足的环境下,其光合作用效率高,生长繁殖速度快。二氧化碳的含量直接影响藻类的生长状态和生存能力。氧气是光合作用的产物,也为藻类进行呼吸作用提供必要元素。在含氧量充足的环境中,藻类可进行有效的呼吸作用,释放能量,推动细胞的新陈代谢和生长,反之则影响其生长和发育。

元素、养料对藻类的生长和发育起着至关重要的作用,这些物质为藻类提供了进行生命活动所需的各种元素和能量。氮是藻类生长中的一个关键元素,藻类中的许多关键生物分子,如蛋白质、核酸、氨基酸等,都含有氮元素。氮的缺乏会抑制藻类的生长,而过多的氮可促进藻类的生长,但也可能引起环境问题,如藻类大量繁殖导致的水体富营养化。磷也是藻类生长的重要元素。藻类中的一些重要生物分子,如脱氧核糖核酸(DNA)、核糖核酸(RNA)和腺嘌呤核苷三磷酸(ATP)等,都含有磷元素。藻类会从环境中吸收磷元素,以满足其生命活动的需求。此外,其他如钾、硫、铁、锌、铜、锰等微量元素也对藻类的生长发育有重要影响。这些元素虽然只需极少量,但它们对于细胞的生命活动有着至关重要的作用。例如,硫元素是蛋白质的组成部分,参与蛋白质的合成;铁元素对光合作用和电子传递有重要作用;锌、铜、锰等元素则是许多酶的活性中心。因此,环境中元素、养料和培养基成分的丰富程度直接影响藻类的生长和发育,而这些元素的平衡也决定了生态系统的稳定性。

藻类能在相对广泛的 pH 范围内生存,但是在某些特定的 pH 值下,它们的生长和繁殖能力将达到最优。许多藻类在 pH 值在 $6.5 \sim 8.5$ 范围内能够最好地生长。在这个 pH 范围内,许多营养元素的可溶性和吸收性最佳,同时能保证藻类的生理活动正常进行。但是,pH 值的极端变化可能会对藻类生活活动产生不利影响。过酸或过碱的环境会破坏藻类细胞的酸碱平衡,可能导致细胞的生理机能出现异常,甚至导致细胞死亡。同时,pH 值的改变还会影响藻类的代谢过程,如光合作用和呼吸作用等。因为 pH 值会影响到酶的活性,而酶是细胞生命活动中的催化剂,对细胞的各种生理活动有着重要影响。

5.5.3 生长环境和地理分布

藻类的生态分布广泛,几乎覆盖了地球上所有的环境,从热带到寒带,它们在生态系统中起着重要的作用。特定的环境条件将决定某种藻类能否在该地区生存和繁殖,而藻类的种类和数量则可反映出环境的特性和变化。

首先,藻类在海洋环境中具有广泛的分布,特别是在沿海和浅海区域。这些区域光照充足,营养盐

丰富,为藻类的生长提供了优越的环境条件。此外,由于海水中的盐度和温度相对稳定,藻类能够在这样的环境中长期生存。其次,藻类也广泛分布在淡水环境中,如湖泊、河流和湿地等。这些环境通常具有丰富的营养盐和光照,为藻类的生长提供了良好的条件。特别是在富营养化的水体中,藻类可能会快速繁殖,形成藻华现象。在陆地环境中,藻类主要分布在湿润地区,如土壤、岩石和树皮等。这些藻类通常具有较强的耐旱和耐盐能力,能够在较为恶劣的环境中生存。

在地理分布上,藻类在全球各地都有分布,各种类型的藻类都有合适的生存环境。一些耐冷的藻类如冰藻,能够在极地的冰雪中生存;一些耐热的藻类,如红藻,可在热带的海洋中繁衍。不同种类的藻类适应了不同的环境条件,形成了多样化的生物群落。

5.5.4 藻类对材料的影响

许多由动物或植物为原材料生产的材料以及类似结构的合成材料会被藻类侵占或破坏。与昆虫不同,藻类的主要的损害方式是化学性的破坏。藻类造成的主要有两类损害。第一种是藻类在建筑物或其他材料表面形成生物膜,导致材料的表面发生腐蚀或变色。第二种损害是通过光合作用,产生大量的有机酸和其他化学物质,这些物质可侵蚀木材、石材、金属和其他材料。此外藻类能够直接利用含碳物质作为营养物质来源,这可能会对其物理结构产生破坏。

藻类腐蚀是藻类通过分泌酸性物质和其他代谢产物引起的腐蚀。与细菌和真菌一样,藻类也可能攻击材料的添加剂而不仅仅是基料本身。藻类对材料造成的腐蚀主要有以下两种方式。

- a) 酸腐蚀:部分藻类,例如蓝绿藻,会在光合作用或其他生物化学反应中产生酸性代谢物,这些物质在环境条件适宜时会迅速积累,对金属材料有腐蚀作用。在这个过程中,金属材料的强度和硬度会降低,最终导致材料失效。对于石材来说,酸性物质会与石材中的碳酸盐反应,造成石材的腐蚀和颜色变化。
- b) 生物膜腐蚀:藻类在生长过程中会在材料表面形成生物膜,这是一种由多种微生物及其胞外分泌物共同构成的复合结构。生物膜能改变材料的表面特性,例如降低其憎水性,增加材料表面的粗糙度等。这种生物膜中的胞外分泌物,可与材料表面发生化学反应,进一步改变材料的性质,降低材料的性能。生物膜也会改变材料的导电性,对电力设备尤其可能产生破坏作用。例如,在电力设备中,由于生物膜的覆盖,可能会导致设备的绝缘电阻降低,从而引发短路、电源故障等问题。

除了直接的酸腐蚀和生物膜腐蚀,藻类对材料的损害还表现在其他方面。例如,藻类生长可能会去除材料表面的保护涂层。这些保护涂层通常用于防止材料直接暴露在环境中,以减少腐蚀和侵蚀的可能性。当藻类在材料表面生长,其生物膜的形成和膨胀可能会使保护涂层破裂或剥离,从而使基底材料暴露于空气、水或其他化学物质中,增加了材料腐蚀的风险。这种损害可能很难恢复,因为保护涂层的修复或替换可能需要大量的人力、物力和财力。此外,不同类型的藻类可能会形成生态共同体,联合增强对材料的腐蚀作用。因此,藻类对材料的影响远远超过单一的酸腐蚀和生物膜腐蚀。

5.6 海洋生物

5.6.1 钻蛀虫

有两种类型的蛀虫,甲壳类蛀虫和软体蛀虫。在前者中,动物的头部或整个身体被封闭在一个双瓣壳中,成为一种切割工具。在后者中,通过一对的强力下颌骨钻孔。

蛀虫通过游泳传播,这只能在幼虫阶段进行,持续时间从一天到一周不等。在这个阶段之后,它们可对产品造成破坏。在某些水域中,潮汐水平之间的攻击最具破坏性,而在其他水域中,在 9 m 至 12 m 或更深的深度或在泥线处破坏性最强。蛀虫不会在强流中生长。在热带地区,它们的破坏能力可

能是温带水域的数倍,同时它们在极圈内也有破坏性。

蛀虫主要在盐水中发现,然而部分在淡水中也可生存。它们主要生活在木材上,会导致木材严重的破坏。它们可穿透电缆的绝缘层和一些保护套。攻击木船底部的嵌缝,偶尔会穿透粘土、砂岩、页岩、大理石和劣质混凝土。

5.6.2 污损生物

污损生物包括藤壶、海藻、珊瑚、海葵、海鞘、蛤蜊、牡蛎和贻贝。

某些污损生物提供了细菌繁殖的环境,这导致了腐蚀的发生,例如被船体外壳上的藤壶困住的死亡生物。全球都有污损生物的分布。

污损生物可能导致非常严重的问题。它们附着在木质和金属的船体上,能将船舶的行驶成本提高25%~30%。另外一种形式的损坏是它们在海水或淡水的入口管、冷却系统中生长。此外,它们可渗透沥青等涂层,产生细菌腐蚀。

6 我国生物环境条件区域的划分

6.1 划分原则

我国生物环境条件的划分原则如下:

- 根据大气温度、相对湿度条件进行区域划分;
- 根据生物对产品的危害程度进行区域划分;
- 根据地面环境与有害生物分布进行区域划分。

6.2 B1区

6.2.1 范围

北起额尔古纳河、海拉尔、锡林浩特、呼和浩特、榆林、吴忠、兰州、西宁、昌都、林芝、雅鲁藏布江的以北地区。

6.2.2 环境条件

本区气候类型复杂,包括寒冷、寒温和干热气候类型,但多数为干旱地区。
本区仅有啮齿动物危害。

6.3 B2区

6.3.1 范围

东起富锦、哈尔滨、长春、沈阳、辽阳、秦皇岛、北京、石家庄、郑州、西安、宝鸡、天水、武都、马尔康、康定、德钦以西,B1区以南的地区。

6.3.2 环境条件

本区全年平均相对湿度大于或等于70%,同时月平均温度大于或等于18℃的月份达到1个~2个月。年平均相对湿度大于60%,年平均温度约为0℃~5℃。
本区存在霉菌、啮齿动物和鸟类的危害。

6.4 B3区

6.4.1 范围

东起连云港、靖江、南京、六安、武汉、宜昌、万州区、南充、绵阳、雅安、西昌、攀枝花、腾冲以北,B2区以南的地区。

6.4.2 环境条件

本区全年平均相对湿度大于或等于 70%,同时月平均温度大于或等于 18℃的月份达到 3个~4个月。年平均相对湿度大约 60%,年平均温度约为 10℃~15℃。

本区生物活动较为频繁,存在霉菌、啮齿动物、鸟类、昆虫、藻类和海洋生物等主要生物的危害。

6.5 B4区

6.5.1 范围

B3区以南的地区。

6.5.2 环境条件

本区全年平均相对湿度大于或等于 70%,同时月平均温度大于或等于 18℃的月份可持续 5个月以上。全年相对湿度在 70%以上的月份达到 10个月,每年梅雨季节达 2个~3个月。

本区生物活动频繁,存在各种生物的危害。

参 考 文 献

- [1] IEC 60721-1 Classification of environmental condition—Part1: Environmental parameters and their severities
- [2] Manganelli M, Stefanelli M, Vichi S, et al. Cyanobacteria biennial dynamic in a volcanic mesotrophic lake in central Italy: Strategies to prevent dangerous human exposures to cyanotoxins [J]. *Toxicon*, 2016, 115: 28-40.
- [3] Herron M D. Origins of multicellular complexity: Volvox and the volvocine algae[J]. 2016
- [4] Li J, Ou R, Liao H, et al. Natural lighting enhancing the algae proliferation and nitrogen removal in membrane-aerated bacterial-algal biofilm reactor [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 851: 158063
- [5] Koller-Peroutka M, Lendl T, Watzka M, et al. Capture of algae promotes growth and propagation in aquatic *Utricularia* [J]. *Annals of Botany*, 2015, 115(2): 227-236
- [6] Shukla M, Tabassum R, Singh R, et al. Influence of light intensity, temperature and CO₂ concentration on growth and lipids in green algae and cyanobacteria [J]. 2016
- [7] Shlosberg Y, Schuster G, Adir N. Harnessing photosynthesis to produce electricity using cyanobacteria, green algae, seaweeds and plants [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 955843
- [8] Suzuki D, Shoji R. Toxicological effects of chlorophenols to green algae observed at various pH and concentration of humic acid [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 400: 123079
- [9] Villegas-Valencia M, González-Portela R E, de Freitas B B, et al. Cultivation of the poly-extremophile *Cyanidioschyzon merolae* 10D during summer conditions on the coast of the Red Sea and its adaptation to hypersaline seawater [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 14: 1157151
- [10] Zhang Z, Qu C, Yao R, et al. The parallel molecular adaptation to the Antarctic cold environment in two psychrophilic green algae [J]. *Genome Biology and Evolution*, 2019, 11(7): 1897-1908
- [11] Flemming H C. Relevance of biofilms for the biodeterioration of surfaces of polymeric materials [J]. *Polymer degradation and stability*, 1998, 59(1-3): 309-315
- [12] Yang S, Jia Z, Ouyang X, et al. Hydrophobicity characteristics of algae-fouled HVDC insulators in subtropical climates [J]. *Electric Power Systems Research*, 2018, 163: 626-637
- [13] Extracellular polymeric substances-the construction material of biofilms [M]. IWA Publishing (International Water Assoc), 2001
- [14] Yang S, Jia Z, Ouyang X. Effects of asymmetrical algal distribution on the AC flashover characteristics of bio-contaminated silicone rubber insulators [J]. *Electric Power Systems Research*, 2019, 172: 296-302
- [15] Atarijabarzadeh S, Strömberg E, Karlsson S. Inhibition of biofilm formation on silicone rubber samples using various antimicrobial agents [J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2011, 65(8): 1111-1118
- [16] 谢从珍, 李超红, 曾磊磊等. 绿藻对交流复合绝缘子伞裙表面形貌及憎水性的影响机理 [J]. *电工技术学报*, 2019, 34(04): 831-837. DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.180114
-

www.bzxz.net

免费标准下载网