

环境工程专项技术研究与应用系列丛书
Environmental Unit Process Technologies Series: Research and Application



供水系统红虫防治技术

Preventions of Chironomus Larva Pollution in Water Supply System

张金松 主编 刘丽君 周令 雷萍 陈益清 编著

中国建筑工业出版社

环境工程专项技术研究与应用系列丛书

供水系统红虫防治技术

张金松 主编

刘丽君 周令 雷萍 陈益清 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

供水系统红虫防治技术/张金松主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

(环境工程专项技术研究与应用系列丛书)

ISBN 978-7-112-09975-7

I. 供… II. 张… III. 给水卫生-虫害-防治 IV. R123

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 035770 号

环境工程专项技术研究与应用系列丛书

供水系统红虫防治技术

张金松 主编

刘丽君 周令 雷萍 陈益清 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 19¼ 字数: 331 千字

2008 年 6 月第一版 2008 年 6 月第一次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-09975-7

(16778)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

供水系统中孳生的各类生物始终是国内外供水行业关注的重点,在严格控制饮用水中的病毒、细菌和致病性原生动物的同时,肉眼可见的摇蚊幼虫即红虫,也是近年来的一个热点难题。我国南方高温高湿季节长,藻类含量高,为摇蚊繁殖提供了有利条件,导致水中摇蚊幼虫大量孳生。摇蚊幼虫影响饮用水的安全,一方面影响饮用水感官指标,另一方面摇蚊幼虫携带的细菌和病毒,很难与氯气接触而灭活,进而导致疾病传播,因此,摇蚊防治成为保障饮用水安全必不可少的环节。

“供水系统中的红虫防治技术”是深圳市水务集团承担的国家“十五”重大科技专项“南方地区安全饮用水保障技术”的重要内容,本书既对课题研究与应用成果进行较为全面的总结,针对我国城市水源和供水系统中普遍存在的红虫污染问题,系统研究了摇蚊生物学特征与污染特征,并以此为基础,研究了红虫的物理、化学、生物和微生物防治方法,通过防治的技术集成和综合应用,建立了城市水源和供水系统中红虫的综合防治策略与方案,对困扰国内外供水界的红虫问题提出高效、安全防治措施,从而保障供水安全和人民的身体健康。

本书由张金松主持编写。其中,第1章、第2章、第5章由刘丽君编写;第3章、第8章由陈益清编写;第4章由周令编写;第6章、第7章由雷萍编写。

本书在编写过程中,得到了南开大学王新华教授、哈尔滨工业大学崔福义教授、湖北省生物农药工程研究中心杨自文博士、华中农业大学喻子牛教授的指导;孙兴滨、张瑞雷、丁书江、潘晶、徐峰、赵凯、卜祥菊等同学的研究成果为本书成稿做出重要贡献;深圳市水务集团的梁明、汪义强、刘茜等参与了本书相关研究工作,在红虫的微生物防治技术内容方面,得到深圳市农业科学研究中心的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编著者水平所限,书中难免疏漏与错误,恳请读者批评指正。

编者
2007年10月

供水系统中的红虫污染是近年来的一个热点难题。针对我国城市水源和供水系统中普遍存在的红虫问题，本书详细论述了供水系统中红虫防治技术，内容包括：摇蚊的生物学特征和红虫污染的生物学特征、红虫的物理、化学、生物和微生物防治技术以及综合防治技术与应用。书中还以具体案例分析的方式，提出了解决红虫问题的具体方案。

本书对城市供水企业技术和管理人员、水处理研究人员具有很好的指导作用，也可供从事水处理生物学研究的科研工作者参考。

* * *

责任编辑：田启铭 石枫华

责任设计：董建平

责任校对：安 东 王 爽

第 1 章 绪论	1
1.1 红虫的产生	2
1.2 摇蚊的种类与分布	3
1.3 摇蚊的用途与危害	4
1.4 供水系统中的红虫防治技术	6
1.4.1 物理防治方法	6
1.4.2 化学防治方法	6
1.4.3 生物防治方法	7
1.4.4 微生物防治方法	7
第 2 章 摇蚊的生物学特性	9
2.1 摇蚊的分类地位	9
2.2 摇蚊的形态特征	10
2.2.1 昆虫的变态	10
2.2.2 摇蚊的形态特征	11
2.3 摇蚊的分布	18
2.4 摇蚊的分类	19
2.5 摇蚊的鉴定	23
2.5.1 形态学鉴定方法	23
2.5.2 分子生物学鉴定方法	27
2.6 摇蚊的人工培养	31
2.6.1 作为经济生物摇蚊幼虫的人工培养	31
2.6.2 摇蚊的实验室人工培养	32
2.6.3 影响红虫生长繁殖的主要因素	40
2.7 摇蚊的生活习性	42
2.7.1 摇蚊的生活史	42
2.7.2 摇蚊的生活习性	45
2.7.3 摇蚊幼虫的食性	47
2.7.4 摇蚊生境	53
2.8 小结	56
第 3 章 水源和水处理系统中红虫的污染特征	58
3.1 供水系统摇蚊孳生影响因素分析	58

3.1.1	温度对摇蚊生长繁殖的影响	58
3.1.2	湿度对摇蚊繁殖的影响	59
3.1.3	光照对摇蚊繁殖的影响	60
3.1.4	浊度和藻类对摇蚊繁殖的影响	60
3.1.5	温度、pH、溶解氧和流速	61
3.2	水质对红虫生长繁殖过程的影响	62
3.2.1	水质对摇蚊发育历期的影响	62
3.2.2	不同水质环境中摇蚊成活率的变化	63
3.3	供水处理工艺流程红虫污染分析	65
3.3.1	自来水厂摇蚊的来源分析	65
3.3.2	沉淀池中摇蚊的污染状况分析	66
3.3.3	摇蚊幼虫在水厂工艺中的穿透与迁移	71
3.3.4	摇蚊幼虫在清水池中的孳生	74
3.3.5	摇蚊幼虫在管网中的迁移	74
3.3.6	供水系统摇蚊污染途径	75
3.4	供水系统中红虫爆发的预警预防	76
3.4.1	红虫爆发的主要原因	76
3.4.2	红虫的预警预防方案	76
3.5	小结	77
第4章	红虫的物理防治技术	79
4.1	喷雾驱蚊技术	79
4.1.1	水雾喷头驱蚊现场试验	80
4.1.2	水厂沉淀池水雾驱蚊生产性试验	81
4.1.3	喷雾驱蚊技术成本核算	83
4.2	光诱吸蚊技术	83
4.2.1	固定式风力吸蚊机	84
4.2.2	移动式吸蚊机	87
4.3	红虫的紫外防治技术	88
4.3.1	紫外水处理技术概述	88
4.3.2	紫外水处理技术特点	89
4.3.3	紫外线灭活红虫的试验方法	90
4.3.4	紫外预处理对摇蚊影响的试验结果与分析	93
4.4	红虫的超声波防治技术	94
4.4.1	超声波水处理技术概述	94
4.4.2	超声波处理某些超声灭红虫研究方法 & 研究装置	96
4.4.3	试验结果 & 分析	97

4.5 红虫的表面活性剂防治技术	100
4.5.1 MMF 表面活性剂的性能特点	101
4.5.2 Agnique MMF 控制摇蚊静态试验	101
4.5.3 Agnique MMF 控制摇蚊生产性试验	104
4.6 小结	110
第5章 红虫的化学杀灭与控制技术	112
5.1 氧化剂的生物灭活机理及对摇蚊幼虫的致毒机制	112
5.1.1 氯类消毒剂	112
5.1.2 二氧化氯	113
5.1.3 臭氧	115
5.1.4 过氧化氢	116
5.2 不同氧化剂对红虫的灭活效果及其影响因素	118
5.2.1 不同龄期幼虫对氧化剂的敏感性分析	118
5.2.2 影响氯对摇蚊幼虫杀灭效果的因素分析	119
5.2.3 影响臭氧对摇蚊幼虫杀灭效果的因素分析	124
5.2.4 影响二氧化氯对摇蚊幼虫杀灭效果的因素分析	128
5.2.5 几种化学氧化剂对摇蚊幼虫杀灭作用比较	130
5.3 化学预氧化与混凝沉淀、过滤工艺对红虫的协同去除作用	136
5.3.1 二氧化氯预氧化与混凝沉淀的协同作用	136
5.3.2 二氧化氯预氧化与混凝沉淀、过滤的协同作用	137
5.3.3 化学预氧化去除摇蚊幼虫的中试应用	138
5.4 氯对摇蚊的种群控制研究	142
5.4.1 试验方案设计	142
5.4.2 原水高温和低温条件下次氯酸钠氯对摇蚊种群控制效果分析	145
5.5 臭氧—活性炭工艺协同对摇蚊幼虫的去除作用	148
5.5.1 连续动态试验	148
5.6 小结	152
第6章 红虫的生物防治技术	153
6.1 蚊虫天敌防治	154
6.1.1 原理	155
6.1.2 防治途径	155
6.1.3 天敌生物防治特点	156
6.1.4 蚊虫天敌防治物类型和筛选	157
6.1.5 蚊虫天敌	159
6.2 转基因工程蓝藻防治蚊虫	175

6.3 昆虫生长调节剂防治蚊虫	175
6.3.1 昆虫生长调节剂的类型	176
6.3.2 应用于蚊虫防治的昆虫生长调节剂	177
6.4 施放不育性雄虫防治蚊虫法	179
6.4.1 施放不育性雄虫防治蚊虫的原理和步骤	179
6.4.2 昆虫不育化方法	180
6.5 生态防治	181
6.5.1 动物屏障和建立缓冲区	181
6.5.2 放养满江红	181
6.6 鱼苗控制水厂红虫的试验研究	182
6.6.1 鱼苗控制沉淀池池壁红虫小型现场试验	182
6.6.2 C 水厂回收池养鱼	185
6.7 蚊虫生物防治的现状和发展前景	186
6.8 小结	188
第 7 章 红虫的微生物防治技术	190
7.1 灭蚊微生物	190
7.1.1 微生物防治	190
7.1.2 微生物杀虫剂的种类和特点	190
7.2 苏云金杆菌杀虫剂的应用机理和应用现状	193
7.2.1 蚊虫的微生物防治和 Bti	194
7.2.2 灭蚊毒理	196
7.2.3 Bti 制剂的生产与应用现状	204
7.2.4 Bti 对摇蚊的毒力表征和测定方法	211
7.2.5 Bti 对摇蚊的毒力特征及其影响因素	218
7.2.6 Bti 作用下的昆虫病理特征	220
7.2.7 Bti 的毒理安全	229
7.3 Bs 的灭蚊实践	241
7.4 蚊虫寄生生物の利用	243
7.4.1 索虫治蚊	243
7.4.2 真菌治蚊	249
7.4.3 小孢子虫科	252
7.5 小结	252
第 8 章 红虫综合防治技术与应用	254
8.1 水源地蚊虫污染的预防与控制	254
8.1.1 水源地红虫物理防治技术应用	254

8.1.2 水源地蚊虫微生物防治技术应用	255
8.1.3 水源地综合防治应用案例	262
8.2 水处理系统红虫防治技术应用	265
8.2.1 化学防治技术应用	265
8.2.2 微生物防治技术应用	270
8.2.3 深圳某水厂沉淀池红虫综合防治	279
8.2.4 南方某水厂红虫污染的综合防治	285
8.3 二次供水系统红虫防治技术应用	288
8.3.1 加强管理防治红虫	288
8.3.2 维生素杀生剂杀灭4龄红虫	288
8.4 供水系统全流程红虫预防与控制策略	289
8.4.1 孳生现状与原因调查	289
8.4.2 集成防治措施	295
8.4.3 防治效果	296
8.4.4 长期预防控制措施	299
8.5 小结	299
参考文献	300

红虫，是对水中生长的多种红色微型水生动物的俗称，这些生物的体表都呈现出红色。在我国北方地区，供水系统中所发现的红虫多为水蚯蚓，国内常见的水蚯蚓有：霍甫水丝蚓（*Limnodrilus hoffmeisteri*）、苏氏尾鳃蚓（*Branchiura sowerbyi*）和颤蚓（*Tubifex tubifex*）等。水蚯蚓属于环节动物门（Annelida）寡毛纲（Oligochaeta）。我国北方地区供水系统中发现的红虫主要为颤蚓类，属于寡毛纲中的颤蚓科（Tubificidae）单孔蚓属（*Monopylephorus*）。其形态特征通常为鲜红色或深红色，有时为浅白色；有许多环状体节，体节之间有间沟和体环；成虫体长一般在 1.5~5.0cm，最长可达 10cm。颤蚓类红虫吞食水底泥土，利用底泥中的腐屑，细菌以及底栖藻类作为营养，有时也吃丝状藻类和小型动物。

生活在腐殖质多、有机污染严重、缺氧环境中的水蚯蚓，常从泥底伸出大部分身体，不断摆动，很有节奏，一遇惊扰则一起缩入泥内，这种不断的摆动造成水流，以便获得尽量多的氧。水中溶氧越低，摆动越快，在腐殖质少而氧气充足的水体中则摆动缓慢。还有一些营浮游或聚集于腐殖质爬行的种类，它们的个体甚小，一般不引人注目。其次还有少数营共生或寄生的种类。水蚯蚓为雌雄同体，异体受精。有些种类进行无性生殖—芽裂。水蚯蚓具有很强的再生能力，切断后能再生成完整的个体。

我国南方地区的供水系统中所发现的红虫以摇蚊幼虫为主，摇蚊幼虫因其体内含有类似血红蛋白的物质而使体表呈现鲜红的颜色。摇蚊（*Chironomidae*）是属于节肢动物门（Arthropoda），昆虫纲（Insecta），双翅目（Diptera），摇蚊科（*Chironomus*）的昆虫。摇蚊成虫的形态与普通蚊子类似，但翅无鳞片，足也较大。由于摇蚊静止时其前足一般向前延伸，并不停地摇动，故名摇蚊。由于摇蚊的成虫没有刺吸式口器，因此完全不进食，所以摇蚊也被称为“不咬人的蚊子”。

摇蚊是一种完全变态昆虫（complete metamorphosis），其生活史

经历4个不同的阶段,即:卵、幼虫、蛹和成虫。摇蚊生活史的不同阶段具有不同的特征,其中以幼虫阶段的历期最长。摇蚊幼虫对水环境的适应范围广,无论在湍急的小溪,深缓的河流,水库、池塘,甚至腐臭的水沟中,只要有充足的有机质,都能发现摇蚊及其幼虫。摇蚊幼虫一般被认为是耐污性底栖生物,其种群分布随水环境的不同而不同,因此,摇蚊幼虫常作为水环境监测的重要指示生物。

摇蚊幼虫与水蚯蚓在形态上存在显著差异。水蚯蚓通常比摇蚊幼虫更细长,且前后端形态相似,难以区分,生活状态下,多数个体常抱团成团。摇蚊幼虫身体较为粗短,前端具有深色头壳;生活时摇蚊很少成团。

此外,还有一些地方将喂养金鱼的红色水蚤也称为红虫。本书中所述的红虫及其防治技术均特指摇蚊幼虫,不包括水蚯蚓类和水蚤类红虫。

1.1 红虫的产生

摇蚊幼虫大多为滤食性生物,以水中的藻类、细菌、水生植物和小动物为食,因此,富营养化的水体有利于摇蚊的生长繁殖。随着我国经济的高速发展,水环境污染的加剧、水体富营养化现象日益严重、藻类大量繁殖,为摇蚊的孳生提供了良好的条件,导致摇蚊(*Chironomus*)在湖泊、水库、河流等被污染的水域中大量孳生,尤其是我国南方大部分地区气候湿热,光照充足,适宜于摇蚊生长繁殖。摇蚊的大量孳生,不仅影响环境景观和人类的活动,而且当这些水体被用作饮用水水源时,则可能严重影响饮用水的供水水质安全。

供水系统是指自水源地取水到将洁净的饮用水输送到用户家中的全过程。供水系统的摇蚊污染可能来自以下几个方面:

(1) 受红虫污染的原水将大量摇蚊幼虫及其虫卵带入水厂的水处理系统后,能够适应水厂水环境的摇蚊种类在水厂构筑物中生长繁殖,一方面导致水处理构筑物池壁大量摇蚊栖息或在构筑物上空飞舞,影响厂区生产环境;另一方面,处理过程中的水体中生长大量的摇蚊幼虫,即红虫,情况严重的可能随水流迁移并进入供水管网和用户龙头。

(2) 水厂周边环境条件差,附近的沟渠或其他水域滋生了大量摇蚊,这些摇蚊在水厂构筑物中产卵,一旦水厂的水质适合摇蚊生长,卵孵化后可能以水厂构筑物为新的繁衍场所,进而污染供水系统。

(3) 二次供水水箱污染。这种情况在出现的自来水红虫投诉中占大部分, 尤其在一些老式住宅的屋顶水箱, 如果封闭不严, 周边卫生条件差, 清洗不及时, 则有可能导致摇蚊在其中大量生长繁殖, 进而污染饮用水。

1.2 摇蚊的种类与分布

如前所述, 摇蚊是属于节肢动物门, 昆虫纲, 双翅目, 摇蚊科的昆虫。摇蚊的种类和数目都很大, 因此受到国际上学术界的高度重视。据报道, 摇蚊科已知的种类有 5000 余种, 分别隶属于下列 7 个亚科: 寡角摇蚊亚科 (Diamesinae), 寡脉摇蚊亚科 (Podonominae), 长足摇蚊亚科 [Tanypodinae (Pelopiinae)], 摇蚊亚科 [Chironominae (Tendipedinae)], 直突摇蚊亚科 (Orthocladiinae), 棒脉摇蚊亚科 (Corynoneurinae) 和海滨摇蚊亚科 (Clunioninae)。我国对于摇蚊分类学的研究起步较晚, 1949 年以前, 我国只有 69 种摇蚊科成虫的记述, 1977 年以后, 才陆续有其幼虫的记述, 目前中国已知种类近 500 种, 其中常见的种类主要属于摇蚊亚科, 长足摇蚊亚科和直突摇蚊亚科等 3 个亚科。

作者在南方某城市的水源水库及多个水处理厂周围共鉴定出摇蚊 25 种, 隶属于 3 亚科 16 属, 包括直突摇蚊亚科 2 属 2 种, 长足摇蚊亚科 2 属 2 种, 摇蚊亚科 12 属 21 种。

摇蚊的分布很广, 其幼虫几乎在任何水域中均可以见到, 其数量占淡水湖泊中底栖无脊椎动物的半数以上, 其生物量约占底栖动物量的 70%~80%。摇蚊的适应性强, 如在海拔近 3200m 的青海湖, 海拔 4000 余米的西藏阿里班公湖附近均有分布, 甚至在终年积雪的湖泊, 也能发现摇蚊的栖息。

摇蚊的分布与气候、水力条件、水质状况等多种因素相关。摇蚊一般生长在湖泊水库的沿岸带, 便于成虫的栖息和产卵, 在深水带, 摇蚊的种类和数量则相对较少。在温暖而溶解氧贫乏的富营养型湖泊, 生长的摇蚊种类与底层水冷而溶解氧丰富的贫营养型湖泊有显著不同, 前者以摇蚊属中的羽摇蚊、塞氏摇蚊、细长摇蚊等为主, 而后者可能以老氏摇蚊、长跗摇蚊、直角摇蚊等为主。随着水体富营养化程度的增加和溶解氧的降低, 水体中摇蚊的种类逐渐减少, 最后只有少数几种耐污型品种生存下来, 成为该水域的优势摇蚊品种和底质中最主要的无脊椎动物生物量贡献者。因此, 水质是影响摇蚊生长和分布的重要因素。

大多数摇蚊幼虫生活在淡水中,但也有少数品种在盐分很高的水体中生活,如盐生摇蚊,不但在氯离子含量较高的青海湖中生存,也能在碱性苏打型水体中生存。

摇蚊幼虫在水域中的生物量一般在每平方米几克至几十克,随当地的气候条件和季节而变化。比如在深圳,由于常年气温较高,摇蚊幼虫通常有两个繁殖高峰期,一个是春末夏初的4~5月份,另一个高峰期则在秋季8~9月份。

1.3 摇蚊的用途与危害

由于摇蚊的种群分布与水环境质量密切相关,摇蚊幼虫是一种常用的水环境监测指示生物。摇蚊幼虫中的某些种类对水质的变化,如氮磷等营养盐类、重金属、pH、溶解氧的变化比较敏感,而另有些种类则对有机污染、重金属类毒物污染有很强的适应能力,因此,在水质的生物学评价中,利用摇蚊幼虫对某些水质指标的选择性敏感和耐污染特性,来反映水质的变化和污染程度。20世纪80年代,欧洲许多国家在研究酸雨对生态环境影响时,多采用摇蚊幼虫作为指示生物,也有的利用摇蚊幼虫口器或触角形态变化监测湖泊或河流水质。通过对水域摇蚊幼虫种群、密度、分布的调查,作为进行水环境质量进行评价的依据。

红虫(摇蚊幼虫)是水体中食物链中的重要一环,是多种经济水生动物如鱼、虾、蟹、鳖、龟等的优良天然饵料。红虫在各类水体中都有广泛的分布,其生物量常占水域底栖动物总量的70%~80%,而且红虫营养丰富,蛋白质含量占干物质的41%~62%,脂肪占2%~8%,因此,红虫已成为一种重要的生物资源。在水产养殖中,摇蚊幼虫还具有许多优点:大小适宜,适口性好;营养全面;不会污染水体,而且残存的摇蚊幼虫不会对养殖对象产生危害,红虫还能摄取水体中的有机碎屑和藻类,净化水质。因此,大量培养摇蚊幼虫来培育经济水生动物的幼体具有重要意义。早在1951年,前苏联就有培育摇蚊幼虫的工厂。目前已有公司饲养红虫,而且销路很好。天津是我国红虫的主要产地,每年有大批的鲜活、冷冻红虫出口国外。

在水质污染和生态失衡的情况下,摇蚊及其幼虫在水域中的大量繁殖,对人们日常生活可能产生严重影响。摇蚊具有在傍晚成群婚飞的特点,在公园、旅游景点、居住地等人们经常活动的场所,群飞的摇蚊会

钻进人的眼睛、耳朵、鼻子，甚至嘴中，给周围的居民和游人造成困扰。而白天，摇蚊喜欢栖息在花草树木等阴凉处，以及人居住的房屋里，严重影响居住和生活环境。昆明的滇池，苏州的金鸡湖，河南许昌的运粮河、深圳的填海区等许多地方都有有关摇蚊大量孳生影响居民生活的报道，类似的情况在国外也有发生。

某些摇蚊是重要的变态反应源，能引起过敏性变态反应疾病，在日本、非洲若干国家多有记录。周承和温廷桓等（1994，1996）报道了江苏太湖的红裸须摇蚊（*Prosilocerus akamusi*）和太湖裸须摇蚊（*P. taihuensis*）在每年深秋（10~12月）大量羽化，引起人类气喘、鼻炎和皮炎等过敏性疾病。用变应原皮肤点刺和血清试验首次证实了我国也存在摇蚊过敏的变态反应疾病。中国江湖水域广大，人口密集地区水体富营养化严重，摇蚊大量孳生与疾病关系也正在受到高度关注。

如果以大量孳生摇蚊的水体作为水源，则红虫可能对供水系统造成危害。红虫对供水系统的影响主要来自两个方面，其一是对二次供水系统的污染，其二是对直接来自自来水厂供水系统的污染。

由于供水压力的问题，许多老式的多层住宅小区一般建有屋顶水箱，而新的高层住宅则一般建有地下水池，来自市政管道的自来水经由屋顶水箱或地下水池向用户供水。由于二次水箱或水池管理不够完善，不能及时清洗消毒，或者密封性不好，导致摇蚊在贮水设施中孳生繁殖，并通过小区或用户管道进入居民饮用水中，这种情况在屋顶水箱中更为普遍。

如果水源中摇蚊大量孳生，摇蚊的幼虫和卵就会通过原水管道进入自来水厂的水处理系统，由于某些水处理构筑物水流相对平缓的特点，摇蚊以供水系统作为栖息地，在水厂的供水处理设施中大量孳生，水厂的反应池、沉淀池、清水池都有可能成为摇蚊孳生繁殖的适宜场所。如果水厂不能采取有效措施预防和控制摇蚊的生长繁殖，红虫则可能通过供水管网进入用户龙头。

国外曾发生多起红虫侵袭供水系统的事件，20世纪70年代初，英国的艾塞克斯称曾发生严重的红虫污染事件，1987年美国印第安纳州的洛厄尔城也发生了城市供水的红虫污染。我国供水系统也发生过红虫污染的情况，如北京、天津、上海、江苏、浙江、湖北、湖南、广东、广西、福建等地诸多城市的供水系统都曾发生过红虫污染供水系统的事件。

我国《生活饮用水卫生标准》规定，饮用水中不得有肉眼可见物。红虫由于其特殊的蠕虫状外形一旦出现在用户饮用的水中，容易造成强烈的感官刺激和恐慌，动摇用户对水质安全的信心。摇蚊幼虫可能携带细菌和病毒，这些病毒和细菌很难与氯气接触被灭活，进而导致疾病传播。

1.4 供水系统中的红虫防治技术

供水系统是指自原水取水至将处理后的净水输送到用户的全过程，包括原水输送，水厂处理和管网输配的全过程。

红虫作为一种水生动物，具有在适宜的环境下生长并繁殖的特点。水源地、原水输送管道，水厂的水处理构筑物、配水管网、二次供水水箱等都有可能成为红虫的孳生和繁殖场所，因此，红虫防治技术的应用应针对摇蚊的生物学特点以及污染的范围和特点。从防治对象来分，有针对摇蚊幼虫的防治方法，还有针对卵和成虫的预防和控制方法；从防治技术原理上来分，有物理防治方法，化学防治方法和生物防治方法，而在实际应用中，应针对红虫污染的具体情况，因地制宜地对多种技术进行综合应用，才能达到预期效果。

1.4.1 物理防治方法

红虫的物理防治技术包括微滤、紫外灯诱蚊、清洗超声波、喷雾等方法。英国艾塞克斯城曾采用安装微滤器的方法防治摇蚊幼虫进入供水系统，卢靖华等曾研究了超声波对红虫的杀灭作用。作者则对光诱杀、喷雾、紫外照射、超声波对摇蚊及其幼虫的灭活作用进行了详细的研究。此外，通过在水处理过程中通过强化混凝过滤，也是减少红虫污染的重要措施。

1.4.2 化学防治方法

化学防治是应用最广泛的红虫防治方法。在养殖业中，常采用滴滴涕、敌敌畏等农药杀灭水域中过度繁殖的摇蚊幼虫，英国艾塞克斯城也曾经采用农药除虫菊酯控制供水系统中的红虫污染。但是，由于供水系统的特殊性，投加的化学药剂应充分考虑人类健康的安全性，因此，一般采用的化学药剂主要限于水处理中常用的对红虫具有灭活作用的氧化剂，如氯、二氧化氯、臭氧、过氧化氢等，这些药剂在发生

红虫的水厂都曾得到应用。比如：宁波自来水公司采用氯进行杀灭红虫的试验，证明当游离氯浓度达到 0.05mg/L 时，对摇蚊幼虫及虫卵均有杀灭作用。成都自来水公司采用的化学药剂包括过氧化氢、次氯酸钠、高锰酸盐和石灰水等，结果表明 5% 的过氧化氢喷洒效果较好。化学防治方法的优点是可充分利用水厂水处理的投加设施和药剂，并且只要投量足够，能够在较短的时间内杀灭红虫。其缺点是需要持续的大剂量投加，带来的负面影响包括导致制水成本的大幅增加，高浓度化学药剂自身的毒性残留和副产物对水质安全的影响，长期使用化学药剂可能产生抗药性。

1.4.3 生物防治方法

生物防治方法主要利用摇蚊在水生态中的食物链作用，通过在发生污染的水域放养以红虫为食的鱼类，控制摇蚊的生长繁殖。由于红虫是多种鱼类的饲料，生物防治所采用鱼的种类应因地制宜。南方地区可选择非洲鲫鱼、鲤鱼等；北方地区可选择草鱼、鲤鱼、鳊鱼等。深圳的梅林水厂长期在平流沉淀池中放养一定密度非洲鲫鱼，对控制红虫的孳生繁殖起到了一定的作用，而对水质没有产生不良影响。几种鱼类立体分布配合放养，利于消灭不同发育阶段的幼虫。而对于采用氯消毒剂作为预处理工艺的水厂，不适合采用这种生物控制的方法，否则一旦鱼在消毒剂作用下死亡，则会产生严重的腥臭味，严重影响水质。

1.4.4 微生物防治方法

微生物控制方法是利用对红虫具有选择性杀灭作用的生物制剂杀灭红虫，从而达到控制其孳生、繁殖和爆发的目的。

在蚊虫防治中，化学防治长期以来占据重要的地位，但化学杀虫剂的使用造成环境污染和生态平衡的破坏，长期大量使用化学农药还导致了蚊虫抗药性的急剧增加。与化学防治相比，微生物防治毒效高、毒性专一，不污染环境，且蚊虫难以产生抗药性，在世界范围内受到重视。苏云金杆菌以色列亚种 (*Bacillus thuringiensis* subsp. *Israelensis*，以下简称 *Bti*) 对蚊科幼虫 (孑孓) 具有专一毒力，在蚊虫的微生物防治中扮演着重要的角色，但是在摇蚊和红虫繁殖方面的应用研究则很少。本书对 *Bti* 在供水系统中红虫防治方面的应用进行了系统性的探讨，目的是寻找解决红虫污染的新的有效途径。