



申请代码	E080401
接收部门	
收件日期	
接收编号	5187083224



# 国家自然科学基金 申 请 书

(2018 版)

资助类别：	面上项目		
亚类说明：			
附注说明：			
项目名称：	丝状产嗅蓝藻光响应机制与水源水库中原位控制策略研究		
申 请 人：	苏 命	电 话：	010-62843038
依托单位：	中国科学院生态环境研究中心		
通讯地址：	北京市海淀区双清路18号生态环境研究中心环境技术楼309室		
邮政编码：	100085	单位电话：	01062923597/62849178
电子邮箱：	mingsu@rcees.ac.cn		
申报日期：	2018年03月07日		

国家自然科学基金委员会



## 基本信息

申请人信息	姓名	苏命	性别	男	出生年月	1984年10月	民族	汉族
	学位	博士	职称	助理研究员	每年工作时间(月)	8		
	是否在站博士后	否		电子邮箱	mingsu@rcees.ac.cn			
	电话	010-62843038		国别或地区	中国			
	个人通讯地址	北京市海淀区双清路18号生态环境研究中心环境技术楼309室						
	工作单位	中国科学院生态环境研究中心/环境水质学国家重点实验室						
	主要研究领域	饮用水安全保障						
依托单位信息	名称	中国科学院生态环境研究中心						
	联系人	罗莎	电子邮箱	std@rcees.ac.cn				
	电话	01062923597/62849178		网站地址	www.rcees.ac.cn			
合作研究单位信息	单位名称							
项目基本信息	项目名称	丝状产嗅蓝藻光响应机制与水源水库中原位控制策略研究						
	英文名称	In-situ control of filamentous odor-producing cyanobacteria based on underwater light lowering technology in source water reservoirs: mechanism and strategy development						
	资助类别	面上项目				亚类说明		
	附注说明							
	申请代码	E080401. 给水处理						
	基地类别	环境模拟与污染控制国家重点实验室						
	研究期限	2019年01月01日 -- 2022年12月31日				研究方向: 水源水污染控制		
	申请直接费用	80.0000万元						
中文关键词		产嗅藻; 有害藻控制; 2-甲基异莰醇; 光竞争; 丝状蓝藻						
英文关键词		odor-producing cyanobacteria; Harmful cyanobacteria control; 2-MIB; light competition; filamentous cyanobacteria						



中文摘要	<p>我国水源水库中由于丝状蓝藻生长代谢产生致嗅物质2-甲基异莰醇导致饮用水呈现土霉味的现象层出不穷。由于2-甲基异莰醇嗅阈值低，常规工艺无法处理，威胁供水安全。本项目通过考察不同光照强度与光谱分布光源条件下典型丝状产嗅蓝藻的生长与产嗅特征，以及与表层水华型蓝藻之间的竞争生长关系，结合实验室培养实验与原位模拟验证实验确定抑制产嗅藻生长的光阈值条件，在此基础上针对不同类型水库研究丝状产嗅蓝藻的调控机理，通过水力学模型模拟不同水力调控模式下水下光照条件分布情况，并根据不同产嗅藻的光阈值条件优选出最佳可行水力调控模式。项目研究内容主要包括丝状产嗅蓝藻的光响应机制及其与表层水华型蓝藻之间的光竞争机制，并分别以“低浊度”密云水库和“高浊度”青草沙水库为研究对象开发相应的水力调控策略。</p>
英文摘要	<p>The off-flavour problems caused by filamentous cyanobacteria in source water reservoirs have been frequently recorded in China, some of these cyanobacterial strains are able to produce 2-Methylisoborneol (2-MIB), an earthy/musty odorant. 2-MIB, with an extremely low odor threshold can not be effectively removed by conventional water treatment process, and thus threatens water supply safety. This project explores the growth and odor characteristics of typical filamentous odor-producing cyanobacteria under different light conditions at different intensity level and spectrum distribution, as well as the competition with bloom forming cyanobacteria. By combining the results from lab culture studies and on-site simulation experiments, the light thresholds for restricting cyanobacterial growth was determined. Based on these results, hydraulic regulating strategy is expected to be developed to control underwater light conditions for different type of reservoirs, and a hydraulic model can be construct according to boundary conditions of targeting reservoirs. This hydraulic model can be subsequently used to simulate various scenes with different hydraulic measures and to compute the distribution of underwater light climate, which can be used to elect the best feasible hydraulic measure according to light thresholds of different strains. The research consists of light response mechanism exploration for various typical odorous filamentous cyanobacteria, and hydraulic measures development for different types of reservoirs with different turbidity level, herein two case studies for the low turbid Miyun Reservoir and high turbid Qingcaosha Reservoir will be performed for developing respective control strategies.</p>



## 项目组主要参与者（注：项目组主要参与者不包括项目申请人）

编号	姓名	出生年月	性别	职 称	学 位	单位名称	电话	电子邮箱	证件号码	每年工作 时间（月）
1	于志勇	1976-07-17	男	高级工程师	博士	中国科学院生态环境 研究中心	010-62843038	zyyu@rcees.ac.cn	220104197607172612	6
2	郭庆园	1985-09-20	男	博士后	博士	中国科学院生态环境 研究中心	010-62843038	qyguon986@126.com	371122198509207456	4
3	贾泽宇	1990-07-10	男	博士生	硕士	中国科学院生态环境 研究中心	010-62843038	sxczqxjzy@163.com	140430199007100015	7
4	刘婷婷	1988-03-10	女	博士生	硕士	中国科学院生态环境 研究中心	010-62843038	tingting_1308@163.com	130625198803106323	5
5	陆金平	1993-09-15	男	硕士生	学士	中国科学院生态环境 研究中心	010-62843038	2586538542@qq.com	340823199309154436	10

总人数	高级	中级	初级	博士后	博士生	硕士生
6	1	1		1	2	1



## 国家自然科学基金项目资金预算表（定额补助）

项目申请号：5187083224

项目负责人：苏命

金额单位：万元

序号	科目名称	金额
	(1)	(2)
1	一、项目直接费用	80.0000
2	1、设备费	20.0000
3	(1)设备购置费	5.00
4	(2)设备试制费	15.00
5	(3)设备改造与租赁费	0.00
6	2、材料费	20.00
7	3、测试化验加工费	8.00
8	4、燃料动力费	0.00
9	5、差旅/会议/国际合作与交流费	18.00
10	6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	2.00
11	7、劳务费	10.24
12	8、专家咨询费	1.76
13	9、其他支出	0.00
14	二、自筹资金来源	0.00



## 预算说明书（定额补助）

（请按《国家自然科学基金项目资金预算表编制说明》中的要求，对各项支出的主要用途和测算理由及合作研究外拨资金、单价 $\geq 10$ 万元的设备费等内容进行详细说明，可根据需要另加附页。）

本项目将在中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室完成，实验室已具备研究过程中必需的大型仪器设备，因此不拟购置 10.00 万元以上设备。但该项目涉及大量野外调查与实验工作，定制加工设备所需费用较多；此外差旅费、材料费相对较多。

本项目直接经费预算 **80.00** 万元，各项预算及依据如下：

### 1、设备费：20.00 万元

#### (1) 设备购置费：5.00 万元

由于丝状蓝藻培养中极易成团，提高采样误差，拟购置 2 台藻类震荡培养平台，在培养时定时震荡、摇匀，共计 20000 元；研究任务 2 和 3 中，两个水库原位在线监测水下光照强度、温度、浊度等所需一批探头，拟采购 20 套，共计 30000 元。

#### (2) 设备试制费：15.00 万元

研究内容 1 中涉及多种藻类模拟装置，由于模拟条件较多，拟定制加工室内模拟装置 20 套，预算 50000 元，定制加工原位半透型模拟装置 20 套，预算 80000 元；野外地形调查时，需要根据监测船定制流速剖面仪、多参数水质仪等得固定装置，拟定制加工 2 套，预算 20000 元。

#### (3) 设备改造与租赁费：0.00 万元

本项目不涉及该项费用。



## 预算说明书（续）

### 2、材料费：20.00 万元

1) 样品采集、长远距离运输、存储所需定深采水器、浮游生物网、冷藏运输箱、样品瓶等，预算 50000 元；2) 原位监测所需透明度盘等，样品前处理过滤设备、过滤膜等，预算 30000 元；3) 藻类计数所需计数框，致嗅物质检测所需萃取纤维头，专用检测瓶，相关标样等，预算 70000 元；4) 分子生物相关耗材，包括 DNA 提取试剂盒、荧光染料等 PCR 相关试剂，预算 40000 元；5) 其他常规试剂耗材，预算 10000 元；共计 200000 元。

### 3、测试化验加工费：8.00 万元

主要用于藻种鉴定时所需基因测序费用，预算 20000 元；部分样品高通量测序获取藻类种群信息，预算 50000 元；以及营养盐等常规指标测定，预算 10000 元。

### 4、燃料动力费：0.00 万元

本项目不涉及该项费用。

### 5、差旅/会议/国际合作与交流费：18.00 万元

#### (1) 差旅费

本项目涉及大量野外工作，包括多个水源水库采样调查与原位模拟实验，密云水库与青草沙水库的连续监测调查，涉及差旅费用较多，按照 8 次/年计算，4 年共计 32 次，平均每次预算 4000 元，共 128000 元。



## 预算说明书（续）

### （2）会议费

本项目的研究对象主要为水源水库，为保证采样、原位实验等顺利开展，需要与各水源水库所属机构保持通畅的交流，会定期开展讨论会议，拟开展 5 次会议，平均每次会议费用 6000 元，共预算 30000 元。

### （3）国际合作

本项目涉及原位模拟实验，实施难度较大，澳大利亚水质中心 Peter Hobson 教授拥有非常丰富的研究经验，项目实施中拟邀请 Hobson 教授来华指导相关实验的开展，预算共计 22000 元。

### 6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费：2.00 万元

主要用于购买水库 DEM 地形数据，以及 delft-3D 模型中所需的基础数据，预算 10000 元；另外，中文论文发表所需版面费以及专利维护相关费用，预算 10000 元。

### 7、劳务费：10.24 万元

劳务费主要用于支付研究生与临时雇佣人员劳务费，共 10.24 万元。其中 1 名硕士生每年工作 10 月，按 600 元/月的标准发放，4 年共计 24000 元；2 名博士生每年共工作 12 月按 800 元/月的标准发放，共计 38400 元，临时雇佣人员每年为本项目工作 5 月，主要负责协助采样、野外调查以及部分实验室支撑工作，保证研究的各项内容顺利进行，其工资按 2000 元/月发放，共计 40000 元。



**预算说明书（续）****8、 专家咨询费：1.76 万元**

项目执行期拟组织 4 次专家讨论会议，用于指导研究工作，每次预算 4400 元，共计 17600 元。

**9、 其他支出：0.00 万元**

NSFC 2018



# 报告正文

## (一) 立项依据与研究内容 (建议8000字以下):

1. 项目的立项依据 (研究意义、国内外研究现状及发展动态分析, 需结合科学研究发展趋势来论述科学意义; 或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录);

### 1.1 研究意义

水库已经逐渐成为我国许多城市的重要水源地<sup>[1]</sup>。然而, 根据“十一五”水专项水质调查结果, 由于藻类生长代谢产生致嗅物质, 我国35个省会城市及地级市的水源水库中有75%的水体存在饮用水嗅味问题, 严重威胁到城市供水安全。例如, 上海市新建水源地青草沙水库, 自2010年运行以来, 每年4-9月出现由于席藻等丝状蓝藻爆发导致的季节性嗅味问题<sup>[2]</sup>; 北京密云水库, 水质良好, 总磷含量在 $10\mu\text{g L}^{-1}$ 左右, 但每年9-10月局部区域仍出现浮颤藻生长导致水体嗅味问题<sup>[3]</sup>。此外, 深圳市重要水源地石岩水库、西丽水库等水库群长期存在伪鱼腥藻等丝状蓝藻生长引起的土霉味问题; 相邻的珠海水源水库群同样也存在丝状蓝藻生长导致的嗅味问题; 天津于桥水库、苏州东太湖湖滨水库、上海金泽水库、银川某化工园区水源水库等均存在由于不同种属的丝状产嗅蓝藻生长/爆发导致的嗅味问题 (基于课题组水库调查结果)。经调查统计, 我国的水源水库中嗅味问题以丝状蓝藻生长代谢产生致嗅化合物 2-甲基异莰



醇 (2-MIB) 的情况居多, 该物质嗅阈值极低, 仅为  $4 \text{ ng L}^{-1}$ – $16 \text{ ng L}^{-1}$ <sup>[4]</sup>, 且水厂处理难度大, 严重降低饮用水品质和用水体验, 并引发用户安全顾虑, 甚至导致社会恐慌<sup>[5]</sup>。典型的产 2-甲基异莰醇藻种主要包括颤藻 (*Oscillatoria* sp.)、席藻 (*Phormidium* sp.)、浮颤藻 (*Planktothrix* sp.) 以及伪鱼腥藻 (*Pseudanabaena* sp.) 等, 这些藻种与表层水华型的浮游蓝藻存在竞争演替关系, 其藻细胞往往不在水体表面形成可见水华, 因而在臭味问题发生前期容易被忽略, 进一步增加臭味发生风险。综上可知, 丝状蓝藻在我国水源水库中广泛存在, 地理分布跨度大; 那么, **为何丝状产嗅蓝藻能够在我国水源水库中出现特异性生长并导致水体臭味问题**, 相关机理尚不清楚, 是环境工程学科中亟需解决的科学问题。

由于 2-甲基异莰醇等致嗅物质在水厂中很难通过常规工艺去除<sup>[6]</sup>, 而通过投加活性炭及深度处理会显著增加处理成本; 此外, 致嗅物质在藻细胞内外的分布特征也会制约水厂的处理工艺<sup>[7]</sup>。因此, 供水行业需要寻求一条更加科学、经济的解决途径。其中, 在水源地原位控制产嗅藻, 降低水厂进水藻细胞密度, 能缓解水厂处理压力, 具有可观的应用前景。水源地原位控制藻细胞密度主要包含两种方式: 其一为爆发后处理方式, 即藻类爆发后, 采取投加化学药剂、絮凝剂及人工捕捞等方法清除藻细胞; 但这些方法在实施过程中需考虑到二次污染风险、药剂及人力成本等问题, 加上丝状产嗅蓝藻主要分布在水水体亚表层或者附着在底泥、石头上, 处理难度大, 受到诸多限制, 也很难达到理想的控制效果。其二为爆发前预防方式, 即通过限制有害藻生长所需资源如控制营养盐、温度、光照等, 或破坏所需环境条件如改变水体流态、破坏水库温度分层结构、种植水生植物和养殖水生动物等, 预防、抑制有害藻生长。水源水库一般会受到严格保护, 营养盐的限制输入已经取得了重要进展, 但若要进一



步管控营养盐的面源污染，将水源水库的营养盐含量降至限制丝状蓝藻生长的水平，难度极高，因此从限制营养盐角度上控制水源臭味问题并不可取；很显然，控制水库水体温度的方式也不可取；此外，水生生物与藻种之间存在非常复杂的资源竞争、捕食等关系，这些依靠生物调控的方法往往需要丰富的经验，操作难度大，稳定性低，可靠性差，且需要定期捕捞，投放鱼类甚至会引发水体鱼腥味等问题，应用受到一定限制。水库中水下有效光照主要与水库所在纬度、季节、水深以及水体消光系数等相关；其中，水深可以通过水位调节，水体消光系数则可以通过调控水体浊度等方式实现，改变水体流态也可以通过调整进水流量、设置导流墙等水力调控手段实现。因此，相比于其他方法，**采取水力学调控手段改变水库水力学特征，进而控制水下光照分布、水体流态等，达到抑制丝状产臭蓝藻生长的目的**，将极大缓解水厂处理压力，是供水行业迫切需求的技术手段，具有非常重要的现实意义。

## 1.2 国内外研究现状及分析

**丝状产臭蓝藻生长特性、影响因子与产臭特征研究进展：**由于大多丝状蓝藻（Filamentous cyanobacteria）生长代谢能够产生毒素和致臭物质，在国内外受到广泛关注，相关研究和报道比较多。从上世纪 80 年代开始有学者关注天然水体中丝状蓝藻生长代谢引起的臭味问题，如 Izaguirre et al. (1983) 在美国加利福尼亚州水库底泥和石头上采集到 2 株产 2-甲基异莰醇的颤藻，并发现他们是引起当地 3 个供水系统出现臭味的主要原因<sup>[8]</sup>；Martin et al. (1991) 在密西西比某池塘中采集到一株产 2-甲基异莰醇的颤藻<sup>[9]</sup>；Hoson (1992) 考察了一株产臭颤藻的生长特征<sup>[10]</sup>；Izaguirre and Taylor (1998) 在美国 Castaic 湖中采集到一株伪鱼腥藻，发



现该藻种是导致水体发生持续两月土霉味的主要原因,并通过分离培养评估了这株藻的产 2-甲基异莰醇的能力<sup>[11]</sup>。同年,日本学者 Sugiura et al.在 Kasumigaura 湖中分离出 4 株丝状产嗅蓝藻,包括两株席藻,一株颤藻和一株鞘丝藻,发现这些藻种生物量与水体土霉味之间存在正相关关系<sup>[12]</sup>。近十年来,国内外学者开始关注影响丝状产嗅蓝藻生长的相关因素,中国科学院水生生物研究所宋立荣研究员团队在熊河水库也分离了伪鱼腥藻 (*Pseudanabaena* sp. FACHB 1277),并通过实验室条件模拟实验评估了光照和温度对其生长与产嗅的影响,发现这是一株生长较快且产嗅能力相对较高的藻种<sup>[13]</sup>;国外学者 Sivonen (1990) 考察了光照、温度、硝酸盐、正磷酸盐以及细菌等因素对一株颤藻生长的影响<sup>[14]</sup>; Sugiura et al. (1997) 评估了原生动物滴虫捕食对席藻生长的影响<sup>[15]</sup>。在产嗅功能基因表达调控方面, Kakimoto et al. (2014) 在实验室培养环境下探讨了培养温度对一株产 2-甲基异莰醇的伪鱼腥藻在产嗅功能基因表达调控与代谢途径的影响<sup>[16]</sup>。针对丝状蓝藻的产嗅能力评估,我国学者研究较多,同济大学于水利教授团队评估了东太湖某水源地中产嗅藻对 2-甲基异莰醇的贡献<sup>[17]</sup>。申请人所在研究课题组在实验室模拟培养了 3 株丝状蓝藻的生长与产嗅过程,发现席藻 18℃下生长代谢产生 2-甲基异莰醇的含量相对较高,与另一种土霉味致嗅物土臭素相比,2-甲基异莰醇的生物可降解性相对较弱,因此其胞外溶解态的比例比土臭素要高<sup>[18]</sup>。中科院水生所李仁辉研究员团队在实验室内模拟了不同温度和光照条件下两株产嗅蓝藻(伪鱼腥藻和鱼腥藻)的产嗅潜力<sup>[19]</sup>。此外, Westerhoff et al. (2005) 总结了 2-甲基异莰醇在水源水库中的季节变化规律和细菌降解过程<sup>[20]</sup>; IWA 饮用水嗅味大会主席 Watson et al. (2016) 总结了蓝藻代谢产生致嗅物质的生物化学过程以及分子合成途径<sup>[21]</sup>; Catherine et al. (2013) 总结了淡



水水体中丝状蓝藻的产毒特征<sup>[22]</sup>。在丝状蓝藻与其他藻种竞争生长方面, Halstvedt et al. (2007) 调查发现 *Planktothrix* sp. 主要集中在水体亚表层到水面下 11 m 处之间生长, 与表层微囊藻具有不同的生态位<sup>[23]</sup>; 中国环境科学研究院储昭升研究员考察了实验室模拟环境下颤藻与微囊藻的竞争生长关系, 探讨了微囊藻对颤藻生长的影响<sup>[24]</sup>。申请人一直从事水源地产嗅藻相关研究, 于 2009 至 2012 年期间调查、分析了密云水库季节性臭味问题<sup>[25]</sup>, 发现水库北部浅水区浮颤藻生长代谢产生 2-甲基异莰醇是其主要成因<sup>[3]</sup>; 此外, 提出了两个藻细胞形态学参数, 能从细胞形态学角度上解释浮颤藻与微囊藻在水库水体中垂向分布成因<sup>[26]</sup>。

尽管关于丝状蓝藻的报道非常多, 其中也不乏探讨光照强度对部分藻种生长影响的研究, 但是已有研究仍然缺乏对丝状蓝藻光响应的系统性研究, 包括不同丝状蓝藻对光强的响应结果, 从光合色素角度探讨叶绿素 a、藻红素等对不同波长、光谱分布光源的响应机制等; 丝状蓝藻与表层水华型蓝藻之间的竞争机制尚无确定的研究结论; 研究方法也主要是基于实验室内模拟实验, 相关结论无法支持原位控藻技术, 因此有必要开展系统化的研究工作, 结合室内培养模拟与野外原位模拟验证实验, 构建不同丝状产嗅蓝藻的光响应数据库, 指导相关研究与应用技术开发。

**水源地原位控制有害藻研究进展:** 为保障原水水质、缓解水厂处理压力, 国内外在水源地进行原位控制藻类方向上已存在相关研究和应用, 按照控制原理可以分为爆发后处理与爆发前预防两种类型。关于前者的研究以探讨不同杀藻剂处理效果、优化杀藻剂等居多, 我国学者李星等等提出在水体中采用投加复合型杀藻剂控制藻类, 并探讨了其灭藻效能与机理<sup>[27]</sup>; 赵小丽等讨论了使用硫酸铜杀藻剂控制浮游植物的效果与合理性, 发现铜的毒性作用仅能在短时间对蓝藻产生一定控制作用<sup>[28]</sup>; Closson



and Paul (2014) 对比分析硫酸铜与硫酸铜螯合物两种杀藻剂对鱼的毒害作用,发现螯合后的硫酸铜毒性效应降低<sup>[29]</sup>;浙江科技大学钱海峰博士对比分析了多种杀藻剂,发现过氧化氢型杀藻剂可能具有应用前景<sup>[30]</sup>。关于生物方法控藻方面,早在本世纪初,由中科院水生所谢平研究员等发现可通过投放鱼类控制蓝藻爆发<sup>[31]</sup>。此外,我国针对富营养化水体藻类控制的研究非常多,中科院南京地理湖泊研究所秦伯强研究员等深入分析了太湖富营养化与蓝藻水华的关系,探讨了湖泊富营养化治理与蓝藻水华控制策略,总结了采用水力学方法、底泥疏浚和生物净化方法降低湖泊富营养化水平,介绍了采用物理工程、物理化学和生物控制方法控制蓝藻水华<sup>[32]</sup>。Paerl and Otten (2013)总结了影响蓝藻爆发的因子,包括温度、营养盐、水位、浊度等<sup>[33]</sup>,提供了控制蓝藻爆发的科学依据。由于营养盐、温度等环境因素的控制存在一定难度,近年来已有学者开始关注水库水位对浮游藻类生长影响;Geraldes and Boavida (2005)简要分析了季节性水位变化对水质的影响<sup>[34]</sup>,Naselli-Flores and Barone (2005)探讨了水位变化对地中海地区水库中藻类种群分布的影响,并提出采用水位调节的方法提升水库水质<sup>[35]</sup>;中科院城市环境研究所杨军研究员所在团队发现水库水位下降有利于水体中蓝藻爆发,并提出可以通过水位调节方法保护中小型水库水质<sup>[36]</sup>。申请人也针对密云水库臭味问题,分析了浮颤藻与水深之间的关系,发现浅水区浮颤藻含量显著高于深水区<sup>[1]</sup>。此外,早在上世纪末,Havens et al. (1998)提出了在亚热带浅水水库中通过调节水下有效光强的方法控制蓝藻种群分布,不过后面相关方面的报道研究较少<sup>[37]</sup>。

如前所述,采用杀藻剂会存在二次污染、作用时间较短等问题,投放鱼等生物控制方法可靠性相对较差;而近年来的研究表明在水源地通过



调整水位等方式改变水下光照强度等，能有效影响蓝藻生长，为水源地控藻提供了新的思路。然而，已有研究仅简单说明了基于水位调控等原位藻类控制的可行性，针对不同类型水源水库中不同丝状产嗅蓝藻的具体控制策略，仍需进一步细化加深研究，开发适应于特定水库的可实施方案。

### 1.3 本项目申请源起与研究思路

许多水源水库确实存在由于丝状蓝藻生长导致的水体臭味问题，威胁到供水安全；目前解决办法主要为原水投加活性炭和水厂深度处理，但处理成本非常高，且无法应对高浓度致嗅物的情况。本项目的申请源起于目前供水行业现实存在的水源臭味问题，结合课题组多年来的研究基础，经与多个供水机构交流、讨论，凝练出来的研究思路和内容。为构建一套针对水源水库的丝状蓝藻预防控制方法体系，需结合不同水库特定环境条件与可调节因子。因此，本项目选取了两种典型类型的水库-“低浊度型”的北京市水源密云水库与“高浊度型”的上海市水源地青草沙水库，作为控制策略的主要研究对象。密云水库水质良好，但存在浮颤藻生长代谢产生 2-甲基异莰醇的臭味问题，自南水北调中线工程调水启动后密云水库开始接纳部分中线调水，而不同的调水方案会影响水库水位季节分布特征，若能借助中线调水，结合浮颤藻的季节与库区空间分布规律，在臭味问题高风险期优化中线调度方案，调整水库水位，很可能会缓解水库的季节性臭味问题。另外，青草沙水库夏季同样存在由于丝状蓝藻生长导致的水体土霉味问题，由于该水库为长江入海口江心水库，直接从长江引水作为水源，其最重要的特征是水量极其丰富，且进水浊度非常高（约 60 NTU 左右）。由于不同浊度水平的水体会影响水下光强和





光谱的分布特征,而光强与光谱会影响丝状蓝藻的生长;基于该原理,结合长江水高浊特点,可以通过加大水库进出水流量,提高库内水体流速,加大库区高浊分布区域面积,提高水库臭味问题高风险区的浊度,进而降低水下光照条件,改变光谱分布特征,达到抑制高风险区丝状产嗅蓝藻生长的目的。

## 参考文献

- [1] SU M, JIA D, YU J, et al. Reducing production of taste and odor by deep-living cyanobacteria in drinking water reservoirs by regulation of water level[J/OL]. Science of The Total Environment, 2017, 574: 1477 – 1483.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716318356>.
- [2] ZHANG K, ZHANG T, DENG Y, et al. Occurrence of algae and algae-related taste and odour (T&O) compounds in the Qingcaosha Reservoir, China[J/OL]. Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua, 2015, 64(7): 824 – 831.  
<http://aqua.iwaponline.com/content/64/7/824>.
- [3] SU M, YU J, ZHANG J, et al. MIB-producing cyanobacteria (*Planktothrix* sp.) in a drinking water reservoir: Distribution and odor producing potential[J/OL]. Water Research, 2015, 68: 444 – 453.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313541400668X>.
- [4] AWWA A W W A. Algae: Source to Treatment[M]. [S.l.]: American Water Works Association, 2010.
- [5] YANG M, YU J, LI Z, et al. Taihu Lake Not to Blame for Wuxi's Woes[J/OL]. Science, 2008, 319(5860): 158.  
<http://www.sciencemag.org/content/319/5860/158.1.short>.
- [6] COOK D, NEWCOMBE G, SZTAJNBOK P. The application of powdered activated carbon for mib and geosmin removal: predicting pac doses in four raw waters[J/OL]. Water Research, 2001, 35(5): 1325 –



1333.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135400003638>.
- [7] LI Z, YU J, YANG M, et al. Cyanobacterial population and harmful metabolites dynamics during a bloom in Yanghe Reservoir, North China[J/OL]. Harmful Algae, 2010, 9(5): 481 – 488.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568988310000260>.
- [8] IZAGUIRRE G, HWANG C, KRASNER S, et al. Production of 2-Methylisoborneol by Two Benthic Cyanophyta[J/OL]. Water Science & Technology, 1983, 15(6-7): 211 – 220.  
<http://www.iwaponline.com/wst/01506/wst015060211.htm>.
- [9] MARTIN J F, IZAGUIRRE G, WATERSTRAT P. A planktonic *Oscillatoria* species from Mississippi catfish ponds that produces the off-flavor compound 2-methylisoborneol[J/OL]. Water Research, 1991, 25(12): 1447 – 1451.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549190173N>.
- [10] HOSON T. Growth Characteristics of the Musty Odor Producing Alga, *Oscillatoria tenuis*[J/OL]. Water Science and Technology, 1992, 25(2): 177 – 184.  
<http://wst.iwaponline.com/content/25/2/177>.
- [11] IZAGUIRRE G, TAYLOR W D. A *Pseudanabaena* species from Castaic Lake, California, that produces 2-methylisoborneol[J/OL]. Water Research, 1998, 32(5): 1673 – 1677.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135497003795>.
- [12] SUGIURA N, IWAMI N, INAMORI Y, et al. Significance of attached cyanobacteria relevant to the occurrence of musty odor in Lake Kasumigaura[J/OL]. Water Research, 1998, 32(12): 3549 – 3554.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135498001535>.
- [13] ZHANG T, ZHENG L, LI L, et al. 2-Methylisoborneol production characteristics of *Pseudanabaena* sp. FACHB 1277 isolated from Xiongh



- Reservoir, China[J/OL]. Journal of Applied Phycology, 2016: 1 – 10.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10811-016-0864-x>.
- [14] SIVONEN K. Effects of light, temperature, nitrate, orthophosphate, and bacteria on growth of and hepatotoxin production by *Oscillatoria agardhii* strains.[J/OL]. Applied and Environmental Microbiology, 1990, 56(9): 2658 – 2666.  
<http://aem.asm.org/content/56/9/2658.abstract>.
- [15] SUGIURA N, NISHIMURA O, INAMORI Y, et al. Grazing characteristics of musty-odor-compound-producing *Phormidium tenue* by a microflagellate, *Monas guttula*[J/OL]. Water Research, 1997, 31(11): 2792 – 2796.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135497001152>.
- [16] KAKIMOTO M, ISHIKAWA T, MIYAGI A, et al. Culture temperature affects gene expression and metabolic pathways in the 2-methylisoborneol-producing cyanobacterium *Pseudanabaena galeata*[J/OL]. Journal of Plant Physiology, 2014, 171(3 – 4): 292 – 300.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S017616171300360X>.
- [17] 劭晨, 黎雷, 于水利, et al. 产嗅藻类对东太湖某地原水中嗅味物质 2-MIB 的贡献 [J]. 中国环境科学, 2014.
- [18] LI Z, HOBSON P, AN W, et al. Earthy odor compounds production and loss in three cyanobacterial cultures[J/OL]. Water Research, 2012, 46(16): 5165 – 5173.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412004046>.
- [19] WANG Z, LI R. Effects of light and temperature on the odor production of 2-methylisoborneol-producing *Pseudanabaena* sp. and geosmin-producing *Anabaena ucrainica* (cyanobacteria)[J/OL]. Biochemical Systematics and Ecology, 2015, 58: 219 – 226.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305197814003378>.



- [20] WESTERHOFF P, RODRIGUEZ-HERNANDEZ M, BAKER L, et al. Seasonal occurrence and degradation of 2-methylisoborneol in water supply reservoirs[J]. Water Research, 2005, 39(20): 4899 – 4912.
- [21] WATSON S B, MONIS P, BAKER P, et al. Biochemistry and genetics of taste- and odor-producing cyanobacteria[J/OL]. Harmful Algae, 2016, 54: 112 – 127.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568988315301530>.
- [22] CATHERINE Q, SUSANNA W, ISIDORA E-S, et al. A review of current knowledge on toxic benthic freshwater cyanobacteria – Ecology, toxin production and risk management[J/OL]. Water Research, 2013, 47(15): 5464 – 5479.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.06.042>.
- [23] HALSTVEDT C B, ROHRLACK T, ANDERSEN T, et al. Seasonal dynamics and depth distribution of *Planktothrix* spp. in Lake Steinsfjorden (Norway) related to environmental factors[J/OL]. Journal of Plankton Research, 2007, 29(5): 471 – 482.  
<http://plankt.oxfordjournals.org/content/29/5/471.abstract>.
- [24] CHU Z, JIN X, IWAMI N, et al. The effect of temperature on growth characteristics and competitions of *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria mougeotii* in a shallow, eutrophic lake simulator system[G/OL] // QIN B, LIU Z, HAVENS K. Developments in Hydrobiology, Vol 194: Eutrophication of Shallow Lakes with Special Reference to Lake Taihu, China. [S.l.]: Springer Netherlands, 2007: 217 – 223.  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6158-5\\_24](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6158-5_24).
- [25] SU M, YU J, PAN S, et al. Spatial and temporal variations of two cyanobacteria in the mesotrophic Miyun reservoir, China[J/OL]. Journal of Environmental Sciences, 2014, 26(2): 289 – 298.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074213604337>.
- [26] SU M, AN W, YU J, et al. Importance of underwater light field in selecting phytoplankton morphology in a eutrophic reservoir[J/OL]. Hydrobiologia, 2014, 724(1): 203 – 216.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-013-1734-z>.



- [27] 李星, 赵亮, 杨艳玲, et al. 复合除藻剂灭藻效能及其机理 [J], 2010, 36(10): 1402 – 1407.
- [28] 赵小丽, 宋立荣, 张小明. 硫酸铜控藻对浮游植物群落的影响 [J], 2009, 33(04): 596 – 602.
- [29] CLOSSON K R, PAUL E A. Comparison of the Toxicity of Two Chelated Copper Algaecides and Copper Sulfate to Non-Target Fish[J/OL]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2014, 93(6): 660 – 665.  
<https://doi.org/10.1007/s00128-014-1394-3>.
- [30] QIAN H, YU S, SUN Z, et al. Effects of copper sulfate, hydrogen peroxide and N-phenyl-2-naphthylamine on oxidative stress and the expression of genes involved photosynthesis and microcystin disposition in *Microcystis aeruginosa*[J/OL]. Aquatic Toxicology, 2010, 99(3): 405 – 412.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166445X10002110>.
- [31] XIE P, LIU J. Practical Success of Biomanipulation using Filter-Feeding Fish to Control Cyanobacteria Blooms: A Synthesis of Decades of Research and Application in a Subtropical Hypereutrophic Lake[J], 2001, 1(1): 337 – 356.
- [32] 秦伯强, 王小冬, 汤祥明, et al. 太湖富营养化与蓝藻水华引起的饮用水危机——原因与对策 [J], 2007, 22(09): 896 – 906.
- [33] PAERL H W, OTTEN T G. Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls[J/OL]. Microbial Ecology, 2013, 65(4): 995 – 1010.  
<https://doi.org/10.1007/s00248-012-0159-y>.
- [34] GERALDES A M, BOAVIDA M-J. Seasonal water level fluctuations: Implications for reservoir limnology and management[J/OL]. Lakes & Reservoirs: Research & Management, 2005, 10(1): 59 – 69.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1440-1770.2005.00257.x>.
- [35] NASELLI-FLORES L, BARONE R. Water-Level Fluctuations in Mediterranean Reservoirs: Setting a Dewatering Threshold as a Management Tool to Improve Water Quality[J/OL]. Hydrobiologia, 2005, 548(1):



85 – 99.

<https://doi.org/10.1007/s10750-005-1149-6>.

- [36] YANG J, LV H, YANG J, et al. Decline in water level boosts cyanobacteria dominance in subtropical reservoirs[J/OL]. Science of The Total Environment, 2016, 557-558: 445 – 452.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716305186>.

- [37] HAVENS K E, PHILIPS E J, CICHRA M F, et al. Light availability as a possible regulator of cyanobacteria species composition in a shallow subtropical lake[J/OL]. Freshwater Biology, 1998, 39(3): 547 – 556.

<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1998.00308.x>.

## 2. 项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题（此部分为重点阐述内容）；

### 2.1 研究目标

本项目在前期研究的基础上，针对我国水源水库中丝状蓝藻生长导致的臭味问题展开研究，解析不同丝状产臭蓝藻的光响应机制以及与表层水华型蓝藻之间的竞争生长机制，并以北京和上海两个重要水源水库为研究对象，分别探讨不同类型水源地中基于水力调控手段改变水下光照条件抑制丝状蓝藻生长、产臭的控制策略，最终形成一套针对不同水库的丝状产臭蓝藻原位控制技术，指导我国水源水库关于原位控制臭味的运行管理。

### 2.2 研究内容

本项目的研究内容分为丝状产臭蓝藻控制机理研究与水源地原位控制策略应用两部分；其中控制机理研究着重探讨不同光照强度及波长分



布下丝状蓝藻的响应机制（研究内容1）以及与表层水华型蓝藻之间的竞争生长机制（研究内容2），原位控制策略则针对两种典型类型水库开发低浊和高浊水库的丝状蓝藻原位控制策略（研究内容3）详述如下。

**研究内容1，典型丝状产嗅蓝藻的光响应机制研究：**选取由丝状蓝藻生长引起嗅味问题的典型水源水库5-8个，分离、培养各问题水库中典型丝状产嗅藻种；在实验室评估不同光照强度条件下各藻种生长、产嗅潜力，探讨藻细胞内不同光合色素（叶绿素a与藻红素等）对不同波长光源（红光、绿光与蓝光等）的响应机制，确定抑制各藻种生长与产嗅的合适光照条件；在野外水库中开展原位模拟实验，验证抑制产嗅藻种生长与产嗅的合适条件。

**研究内容2，丝状产嗅蓝藻与表层水华型蓝藻的光竞争机制研究：**选取研究内容1中的丝状产嗅蓝藻1-2株及典型表层水华型蓝藻如微囊藻、鱼腥藻等，在实验室条件下模拟两种藻类竞争生长，评估不同光照条件下丝状蓝藻与浮游藻种的生物量、产嗅潜力；解析不同光合色素在光竞争中的响应机制，探讨藻红素为丝状蓝藻在光竞争中所提供的优势；在野外水库中开展原位竞争模拟实验，验证实验室模拟所得出的结论。

**研究内容3，水源水库中原位控制丝状产嗅蓝藻生长的调控策略研究：**分别选取北京市密云水库与上海市青草沙水库为“低浊型”与“高浊型”水体的研究对象，连续开展库区包括浊度、颗粒物粒径分布在内的相关指标监测，识别丝状蓝藻生长热区及嗅味问题高风险区；分别在实验室内与野外水体中考察不同浊度水平与颗粒物粒径分布下水下光强与光谱分布特征，构建浊度-光强-光谱相关关系模型；采集水库地形，收集引排水





闸门流量数据，构建水库动力学模型；模拟不同引排水调度模式下各库区水深与浊度分布，基于浊度-光强-光谱关系模型，优化两个水库进出水流量调度方案。

## 2.3 拟解决的关键问题

**关键问题 1：构建典型丝状产嗅蓝藻对不同光照强度、光谱分布等光照条件的响应数据库** 不同水源水库中典型丝状产嗅蓝藻存在差异，主要包括颤藻、席藻、浮颤藻和伪鱼腥藻等，且不同藻种对光的响应结果同样存在差异，因此需要针对不同藻种开发不同调控方式。从水源水库中分离、培养典型丝状蓝藻，并构建对光的响应数据库是本研究中拟解决的关键问题之一。

**关键问题 2：丝状蓝藻与表层水华型蓝藻之间的竞争生长机制** 表层蓝藻水华时会显著降低水下光照强度与光谱分布，进而影响在亚表层和底泥附着生长的丝状产嗅蓝藻的生长，因此构建两者之间的竞争机制模型，能进一步完善水源水体中丝状蓝藻的生长潜力评估，是本研究中拟解决的关键问题之一。

**关键问题 3：构建抑制丝状蓝藻生长与产嗅的“一库一策”技术方法体系** 不同水源水库往往具有不同环境条件，包括地形、水深、进水流量、水质、产嗅藻种等方面，因而无法采取统一的调控手段控制水体产嗅藻生长与臭味问题，需要根据水库特定条件开发相应的可行调控手段，如密云水库可采取“水位调节”方式，而青草沙水库则可以采取“浊度调节”方式。因此，构建抑制丝状蓝藻生长与产嗅的“一库一策”技术方法体系是本研究中拟解决的关键问题之一。





### 3. 拟采取的研究方案及可行性分析（包括研究方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明）；

#### 3.1 技术路线

研究内容主要分为丝状产嗅蓝藻光响应机制与调控策略研究两部分；前者通过分离水源水库典型产嗅藻种、实验室内培养实验与原位模拟实验等内容重点解析典型丝状产嗅蓝藻的光响应机制，以及与表层水华型蓝藻之间的光竞争关系。后者则主要探讨不同类型水库中基于水源水力调控手段改变水下光照条件进而抑制产嗅藻生长的控制策略；由于浊度是影响水下光强与光谱分布重要指标，因此以“低浊度水库”和“高浊度水库”分别展开讨论，形成原位控制丝状产嗅蓝藻的技术体系。

本研究的技术路线如图1所示。

#### 3.2 研究方法和实验手段

**典型丝状产嗅蓝藻光响应机制研究：**1) 根据课题组前期调查结果，分别在北京密云水库、上海青草沙水库、金泽水库、珠海凤凰山水库、大镜山水库、深圳石岩水库、吴江东太湖湖滨水库等水源水库中嗅味发生期采用浮游生物网富集藻类样品，在显微镜下采用传统毛细管分离方法分离典型丝状产嗅蓝藻，分离成功后进行扩大培养并通过 16S rDNA 全长测序（扩增引物：27F/1492R）精确鉴定藻种。2) 在藻类模拟实验平台中开展分离成功的丝状蓝藻条件模拟实验，采用模拟太阳光谱的日光灯作为不同光照强度水平响应实验光源，光照强度设置参考水源水库中不同水深处（如 0.5 m、1.0 m、1.5 m、2.0 m、3.0 m 及 5.0 m）实际光强，采用420 nm、560 nm、620 nm等多种单波长 led 灯管作为不同光合色素（叶

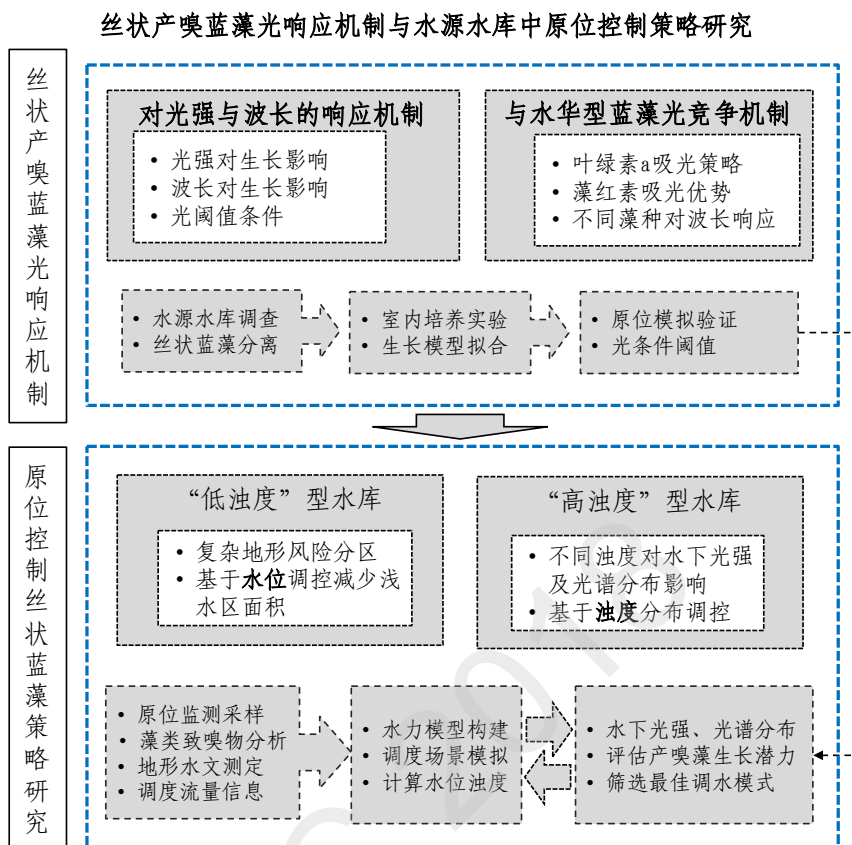


图 1: 技术路线

绿素 a 与藻红素等) 对波长响应实验光源, 其他培养条件如温度、营养盐等依据相应水源水库臭味发生期实际环境条件设置, 模拟周期为一个生长周期 (约 30-60 天), 采用独立小瓶 (250 mL) 培养, 设置 3 个平行样品, 每隔 2-3 天采集样品, 用显微镜计数法测定样品中藻细胞密度与生物量, 采用固相微萃取-气象色谱/质谱联用方法 (SPME-GC/MS) 测定致嗅物质, 采用酶标仪测定藻细胞吸收光谱分布。3) 根据生长周期模拟实验结果, 采用对称 Logistic 和非对称 Gompertz 生长模型拟合, 获取不同光强与波长下最大生物量、对数期生长速率等关键参数, 并构建这些关键参数与光强、波长之间的关系模型, 计算出抑制产嗅藻生长的光阈值条件。



4) 在各水源水库中开展相应丝状产嗅蓝藻的原位培养模拟实验, 采用允许物质交流但阻断藻细胞出入的半透膜型培养装置, 分别在“低浊度”水库中水下 0.5 m、1.0 m、1.5 m、2.0 m、3.0 m 及 5.0 m 处模拟不同光照强度, 或者在“高浊度”水库中不同浊度 (如 5 NTU、10 NTU、20 NTU、30 NTU、40 NTU 及 60 NTU 等) 区域模拟不同光照强度及光谱分布特征, 验证采用实验室模拟结果计算出的光阈值条件抑制产嗅藻种的可行性。

**丝状产嗅蓝藻与表层水华型蓝藻的光竞争机制研究:** 1) 根据水库原位调查结果, 分离、培养 1-2 种水华型浮游型优势藻, 如微囊藻、鱼腥藻等, 另选取研究内容 1 中 1-2 株典型丝状产嗅蓝藻, 进行实验室混合培养实验。2) 采用日光灯作为不同光照强度水平响应实验光源, 光照强度设置、其他培养条件等参照研究内容 1, 按不同比例 (如 2:1, 1:1, 1:2) 混合丝状产嗅蓝藻与水华型蓝藻细胞, 采用独立小瓶 (250 mL) 培养, 设置 3 个平行样品, 每隔 2-3 天采集一次样品, 分别测定样品中两株藻种的细胞密度与生物量, 并采用酶标仪测定藻细胞吸收光谱分布。3) 采用多种单波长 led 灯管作为实验光源 (波长参照研究内容 1), 其他条件同 2), 考察不同波长光源对表层水华型蓝藻与丝状蓝藻竞争生长的影响。4) 分别选取“低浊型”和“高浊型”水源水库各 1 个, 开展丝状产嗅蓝藻与表层水华型蓝藻光竞争原位模拟验证实验, 采用半透膜型培养装置, 分别在“低浊度”水库中水下不同深度模拟不同光照强度, 在“高浊度”水库中不同浊度区域模拟不同光照强度及光谱分布特征, 验证两种藻类之间的光竞争机制。

**水源水库中原位控制丝状产嗅蓝藻生长的调控策略研究:** 1) 分别以北京市密云水库和上海市青草沙水库作为“低浊度”和“高浊度”类型水体中



丝状蓝藻控制策略的主要研究对象，在项目执行期内开展常规采样点的连续监测，采用多参数水质监测仪（EXO2）等原位采集基本理化指标，重点包括各采样点温度、光照、浊度、pH、溶解氧等的垂向剖面分布，分层采集水样检测藻类种群（显微镜计数与 MiSeq 高通量测序相结合）及致嗅物质（SPME-GC/MS），采用在线监测探头连续监测水库水温、水下光照、浊度及水位动态变化；2）采用多普勒声学剖面仪（ADCP）扫描水面以下库底地形，购买库区周边卫星遥感 ASTER-GDEM 高程数据集（精度 30 m，NASA，美国），基于空间插值方法构建水库完整地形图。记录水库主要河流的日入库流量，以及水厂取水等出库流量，采用 Delft-3D 软件构建水库水力学模型；3）在实验室内采用高岭土配置不同浊度和粒径分布的溶液，采用酶标仪检测溶液对不同波长光源的吸收效果，构建浊度-光强-光谱关系模型；4）模拟计算各季节不同引排水流量水平下库区水位、浊度等指标空间分布，依据浊度-光强-光谱关系模型，确定各库区水下光强与光谱分布特征，并参照研究内容 1 计算得出的产嗅藻光阈值条件，以及研究内容 2 中表层水华型蓝藻对丝状蓝藻竞争生长影响，评估不同调度流量下库区丝状产嗅蓝藻的生长爆发风险，并通过对比优选出抑制丝状蓝藻生长与产嗅的最佳调水模式。

### 3.3 可行性分析

**研究方法、技术手段合理可行：**本研究涉及的实验分析方法包括常规水质分析、藻类分离、鉴定与计数、致嗅物质监测等，国内外均有成熟的分析方法，致嗅物质等部分指标的标准检测方法由课题组开发，故分析手段合理可行；本项目中水力学模型采用 Delft-3D 开源软件构建，该软件已在全球范围内大量使用，相关技术手册全面，且项目参与人员具备丰



富的使用经验；原位模拟实验是本研究中难度较高的内容，在前期研究中已经设计和实验了相关模拟装置，并在密云水库成功开展了预实验。因此，以上研究方法、技术手段均合理，为本项目的开展提供了重要保障。

**研究条件可行：** 申请人所在课题组具备雄厚的实验平台，软硬件设备齐全；同时与本研究中涉及的水库所属机构建立了良好的战略合作关系；此外，课题组与国际上许多同行专家、科研机构保持良好交流、合作关系，每年定期邀请多位相关专家来课题组指导研究工作。因此，良好的研究条件为本项目高质量完成提供保障。

#### 4. 本项目的特色与创新之处；

**特色：紧密与实际需求的环境问题相结合。** 本项目针对的丝状蓝藻生长代谢引起的水体臭味问题，在我国水源水库中广泛存在，已经威胁到了供水安全，是供水行业目前最关注的问题之一；本项目提出在水源地原位控藻的解决途径，具有非常重要的现实意义。

**创新点：在水源地采取水力调控手段控制产嗅藻导致的嗅味问题。** 丝状蓝藻产生的致嗅物质 2-甲基异莰醇嗅阈值低，难处理，给水厂处理带来很大压力。本研究首先解析丝状产嗅蓝藻的光响应机制，然后运用该机制在水源地采用水力调度方式达到抑制产嗅藻生长的目的，是一种全新的尝试，具有非常强的创新性。



## 5. 年度研究计划及预期研究结果（包括拟组织的重要学术交流活动、国际合作与交流计划等）。

### 5.1 年度研究计划

本项目计划4年完成，年度研究计划如下：

**2019年：**本年度主要以收集、分离产嗅藻为主，具体如下：

- 1) 1-3月，联系密云水库、青草沙水库、金泽水库、凤凰山水库、大镜山水库、吴江东太湖湖滨水库等所负责机构，沟通、协商制定各水库在其臭味发生期的产嗅藻采集计划；
- 2) 4-5月，在珠海凤凰山水库与大镜山水库采集藻类样品，在实验室分离丝状产嗅蓝藻；
- 3) 6-8月，在吴江东太湖湖滨水库、青草沙水库、金泽水库采集、分离产嗅藻；
- 4) 9-10月，在密云水库采集分离产嗅藻；
- 5) 11-12月，在深圳石岩水库采集、分离产嗅藻；
- 6) 全年同期开展密云水库和青草沙水库的野外调查监测工作，包括常规指标、水文水质、浊度、透明度、水下光照强度、藻类种群及致嗅物质等方面；另外，分离、培养各水库中优势浮游蓝藻。

**2020年：**本年继续开展密云水库与青草沙水库的原位监测工作，除此外主要以实验室内模拟实验为主：



- 1) 1-3 月, 准备模拟实验, 包括藻类模拟平台内不同类型光源的安装, 成功分离的产嗅藻种的扩大培养等;
- 2) 4-8 月, 根据情况选取不同的丝状产嗅蓝藻 3-5 株, 分别开展不同光照强度与波长对产嗅藻生长影响实验; 此部分研究内容涉及多个藻种多种条件实验, 详细时间安排根据具体实验情况调整;
- 3) 9-12 月, 选取 1-2 株丝状产嗅蓝藻及 1-2 株水华型浮游蓝藻, 开展不同光照强度与波长下的光竞争实验; 详细时间安排根据具体情况调整;
- 4) 同期, 汇总、分析实验结果, 构建丝状产嗅蓝藻对光照强度与光谱分布的响应数据库;
- 5) 此外, 收集密云水库、青草沙水库相关数据资料, 采用 Delft-3D 软件构建水力学模型。

**2021 年:** 本年度继续开展两水库的野外监测工作, 主要工作内容为原位模拟验证实验:

- 1) 1-3 月, 准备加工原位模拟实验装置, 制定实验方案, 包括原位实验地点、条件设置等;
- 2) 4-12 月, 将实验室内培养模拟的产嗅藻种, 在相应采集、分离的水源水库开展原位模拟实验, 每组实验控制在 2-4 周左右完成; 详细安排根据实际情况进行调整;
- 3) 同期, 在实验室内开展不同浊度、粒径分布标准高岭土溶液对不同波长光的吸收效果, 构建浊度-光照-光谱相关关系模型。



4) 此外, 利用构建好的两个水库水力学模型, 模拟不同调度方案, 计算水体光强与光谱分布特征。

**2022 年:** 本年度重点作为两个水库基于水力调度模式抑制产嗅藻生长的策略开发:

- 1) 1-8 月, 进一步完善水力学模型, 结合室内模拟结果得出的产嗅藻光阈值条件, 分别优选出两个水库可行的调度方案; 选取 2 个水库, 开展光竞争的原位模拟验证实验;
- 2) 9-12 月, 全面总结本项目的研究结果, 撰写两种类型水库的调度策略报告, 形成水源地抑制丝状蓝藻生长的技术体系, 并推广至我国其他水源水库;
- 3) 同期, 撰写学术论文, 接受对本项目的最终审查和考核。

在本项目执行期间和完成之后, 本项目所取得的研究成果拟参加 2 次国际学术会议、3 次国内学术研讨会。

## 5.2 预期研究结果

**构建典型丝状产嗅蓝藻对光照强度与光谱的响应数据库:** 通过原位采集、分离丝状产嗅蓝藻, 结合实验室培养与原位模拟验证实验, 确认不同藻种在不同光强、不同光谱分布光源下的生长与产嗅特征, 形成相应数据库, 能指导不同应用场景下丝状产嗅蓝藻藻的预防控制。

**典型丝状产嗅蓝藻与表层水华型蓝藻的光竞争机制:** 采用实验室模拟研究与原位模拟验证相结合的方式, 解析丝状蓝藻与浮游藻类在不同光照





强度与波长下的生长特征，基于光合色素等解析两种藻的光竞争机制，补充、完善丝状蓝藻纯培养模拟得出的结论。

**形成水源地原位调控丝状产嗅蓝藻的技术体系：**本研究以两种典型浊度类型水库为研究对象，研究基于水源水库水力调度模式的丝状蓝藻原位控制技术，能拓展、推广至其他类型水源水库。

**学术论文和发明专利：**项目完成后发表学术论文 3-5 篇；其中高水平 SCI 论文 2-3 篇；申请发明专利 1-2 项。

## **(二) 研究基础与工作条件**

### **1. 研究基础（与本项目相关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩）；**

#### **1.1 相关的研究工作基础积累**

**理论基础：**在博士研究生阶段，申请人作为主要研究骨干，高质量（优）完成国家自然重点基金一项（“湖库型水源地蓝藻水华及其有害次生产物暴发机制（50938007）”）。申请人随后获得 2016-2018 年度的青年基金项目（“南水北调中线调水对密云水库产嗅藻生长影响研究（51508549）”），该项目为本研究提供非常重要的研究基础。申请者主要从事产嗅藻相关研究，在我国多个水源水库中开展了相关研究，包括北京密云水库、天津于桥水库、上海青草沙水库与金泽水库、珠海凤凰山水库与大镜山水库、呼和浩特金海调蓄水库等 10 多个水库，掌握了大量野外调查技术，熟悉水库运行规律等理论知识。此外，申请人在研究中积累了大量检测分析技术，包括相关水质、藻类鉴定与计数、致嗅物分析、分子生物相关技术等，并自行设计了采样、监测、分析方面的工具，代表性的成果包含藻类



计数软件、连续流动采样系统、底栖藻采样器、自动定时采样微系统等；这些工具在研究项目中得到了大量的应用，为项目的顺利进行提供十分重要研究工具；此外，申请者具有扎实的数据分析能力，精通 3 门常用编程语言（R、matlab、C#），为本项目中模型数据的解析以及模型二次开发等提供保障。

## 1.2 已取得的研究成绩

申请者近 5 年以第一作者在相关领域发表 5 篇 SCI 期刊论文，影响因子分别为（6.942、6.942、4.900、2.937 和 2.056）；以合作作者发表 SCI 论文 4 篇，国内核心期刊论文 1 篇；另有 2 篇 SCI 论文在审, 1 项发明专利，1 项软件著作权。

## 1.3 申请人预研究情况

**原位模拟预实验：**丝状产嗅蓝藻的原位模拟实验由于存在很多不确定因素，实施难度较大。目前，申请人已对比设计了两种不同的原位模拟方式，如图 2 所示；并已在密云水库开展了部分预实验，发现了实验过程中存在的问题，包括容易发生漏液，生物附着等，经过优化、改进，获得了一些初步结果。

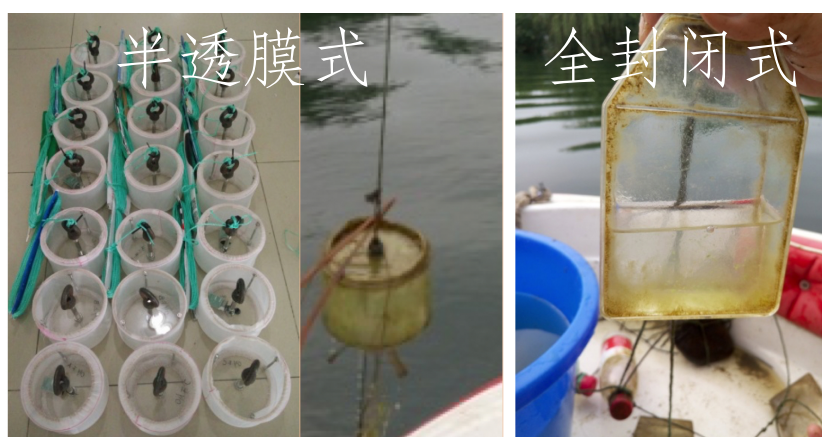


图 2: 两种不同原位模拟方式对比图

实验采用两株产 2-甲基异莰醇丝状蓝藻，伪鱼腥藻和浮颤藻，设置 3 个平行，实验周期 40 天，每周采样 1 次。实验结果如图3所示，两株藻均在水下 1.5 m 处生长状态最佳，而并非水表面 0.5 m 处；另外，在水下 3.5 m 处两株藻生长表现不同，伪鱼腥藻生长相对较好。这些结果暗示，丝状蓝藻更倾向于相对弱光条件下生长，光照强度太强或太弱均会抑制其生长，且不同藻种的光阈值条件不相同，因此需要针对不同丝状产嗅蓝藻开展更加系统的研究。

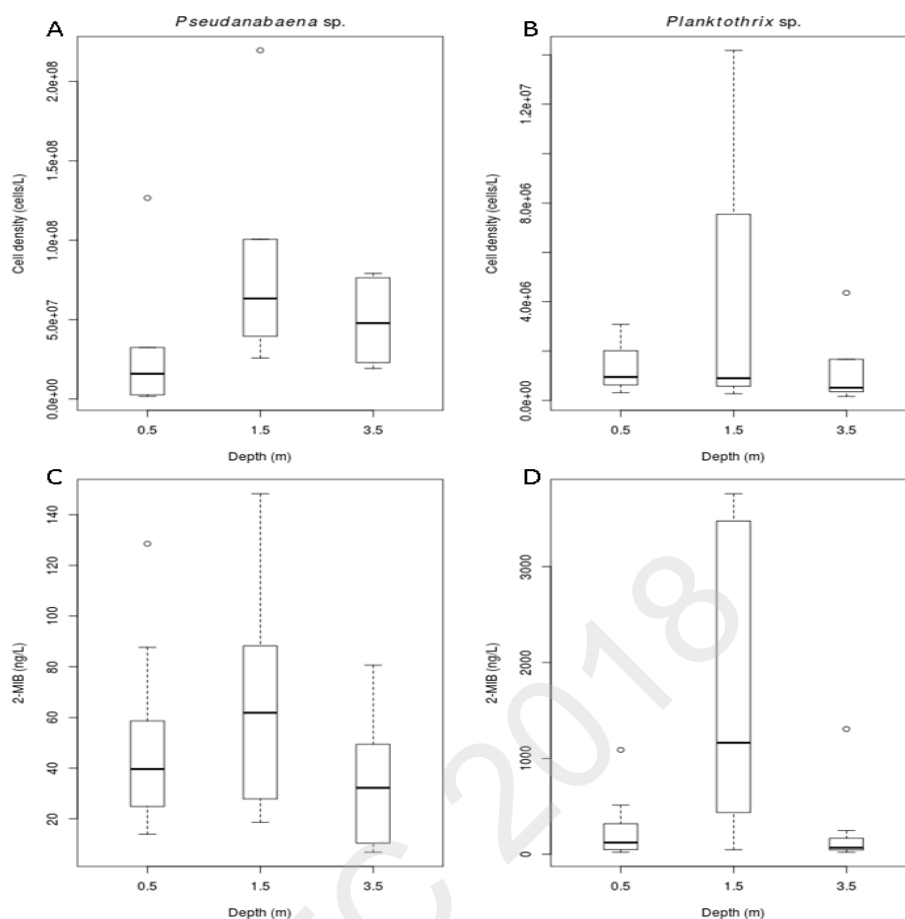


图 3: 两株丝状产嗅蓝藻原位模拟预实验结果

**不同波长对丝状产嗅蓝藻生长影响:** 藻类除了含有叶绿素外, 一般还有其它一些辅助色素, 而这些辅助色素在其生长中有时也扮演重要角色。藻红素一般存在于海洋藻类中, 但在一些淡水蓝藻如伪鱼腥藻、隐球藻、颤藻也报道较多。为探明在不同波长光源下丝状蓝藻的生长、产嗅规律, 开展了伪鱼腥藻模拟培养的预实验, 结果如图4所示。伪鱼腥藻在红光和绿光下生长均较好, 2-甲基异莰醇产量也同步增加, 而在蓝光下生长较差, 几乎不产生 2-甲基异莰醇; 在红光和绿光下的单位细胞产嗅量相差不大。实验结果表明, 含有藻红素的藻在绿光下也能生长, 这可能是导致其在弱光环境的竞争获胜的原因之一; 同时也暗示着若能通过改变浊度或颗



颗粒物粒径分布调控水下光谱分布特征，将引起藻类种群变化，也有可能抑制丝状产臭蓝藻的生长。

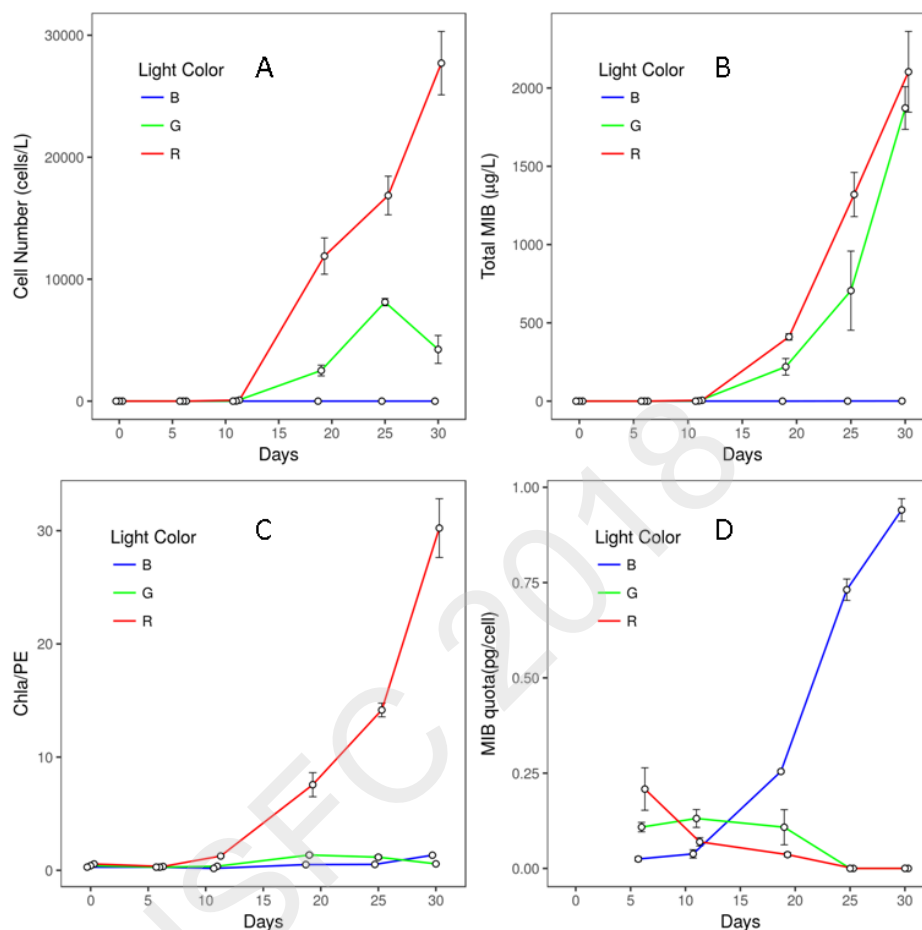


图 4: 不同波长光源对伪鱼腥藻生长、产臭的影响

**青草沙水库产臭藻控制策略研究** 根据青草沙水库相关数据，前期初步构建了水力学模型，并模拟计算了 3 种增大水库进水流量场景下水库浊度分布结果，并根据浊度、水位结果等评估了加大流量后水库发生臭味问题的风险水平，如图5所示。结果发现，3 种加大流量的模拟场景均有效降低了产臭藻发生风险，说明改变水力调度方案会影响产臭藻生长，再通过多种模拟场景对比，能够优选出更为合理的调度模式。

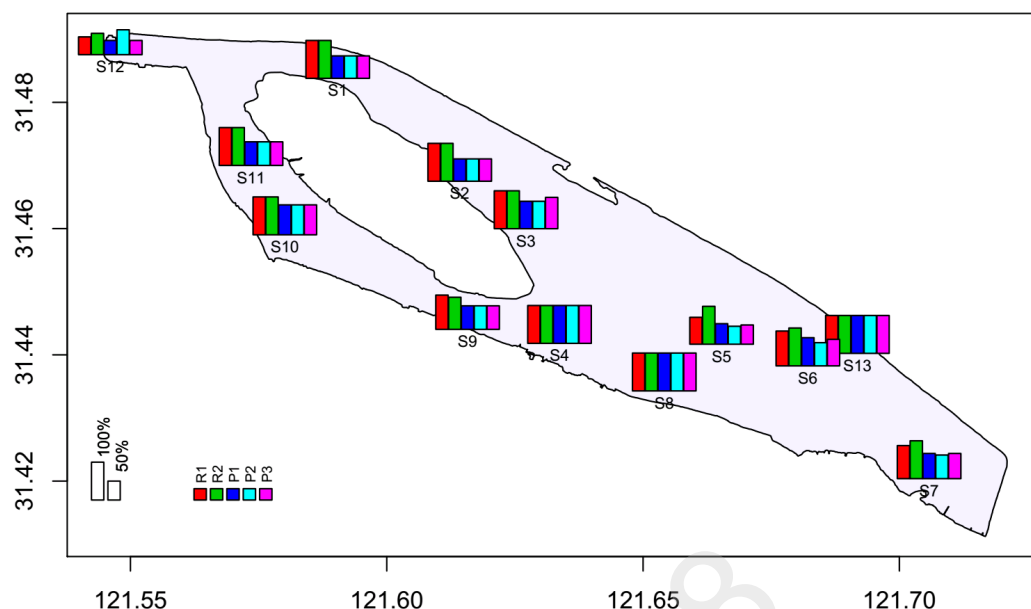


图 5: 改变青草沙水库调度流量后各区域产嗅藻发生风险变化示意图; R1, R2 为两种常规调度流量模拟场景, P1, P2, P3 为 3 种加大调度流量的模拟场景

## 2. 工作条件 (包括已具备的实验条件, 尚缺少的实验条件和拟解决的途径, 包括利用国家实验室、国家重点实验室和部门重点实验室等研究基地的计划与落实情况);

### 2.1 已具备的工作条件

**人才结构:** 项目组成员由环境工程、生态学、环境地理学等专业的科研人员和研究生组成, 学科交叉优势明显, 与本项目的学科交叉特色相符。

**硬件条件:** 申请人所在实验室为国家重点实验室, 具备雄厚的实验平台, 拥有多普勒声学剖面仪、水下光量子监测仪、多参数水质监测仪、连续流动采样系统等野外设备, 以及流动注射分析仪、正置及倒置显微镜、电子扫描显微镜、浮游植物分类荧光仪、高通量测序仪、中型数据与模型计算服务器、酶标仪、激光粒度仪、气象色谱-质谱联用分析仪等项目必需设



备；这些设备为本项目中各项研究内容的开展提供了十分完善的硬件条件。

**合作条件：** 申请人所在课题组与北京市水务局及下属密云水库管理处、上海市城投集团下属原水公司均建立了长期的战略合作关系，能够确保密云水库、青草沙水库相关历史监测数据共享以及连续监测工作的开展，确保项目顺利进行。课题组也与珠海水务集团、深圳水务集团、吴江华衍水务公司等诸多供水企业建立了合作关系，且本项目的研究目标完全切合各方实际需求，能保障相关研究任务的顺利开展。此外，课题组还与国内外上同方向科研机构、专家建立了良好的合作与交流关系，包括澳大利亚水质中心、挪威奥斯陆大学 Tom Anderson 教授团队、美国 Virginia Tech 的 John Little 教授团队、荷兰 Delft 大学、中国台湾成功大学林财富教授团队、中科院水生所等。前澳大利亚水质中心主任，阿德莱德大学教授 Michael Burch 长期从事水源产嗅藻相关研究，具有非常丰富的经验，也是申请人在硕士和博士期间赴澳访问交流的导师；最近，Michael Burch 教授成功申请了“中国科学院国际人才计划 (PIFI)”，他将在课题组协助指导开展本项目相关工作，为本项目高水平完成提供保障。此外，申请人作为 IWA 湖库管理大会委员，成功组织了两次国际湖库管理大会，积累大量国内外合作资源，能为本项目中的难点问题提供寻求帮助的途径。

## 2.2 尚缺少的工作条件和拟解决的途径

申请人所在课题组具备开展该项目的工作。



**3. 正在承担的与本项目相关的科研项目情况（申请人和项目组主要参与者正在承担的与本项目相关的科研项目情况，包括国家自然科学基金的项目和国家其他科技计划项目，要注明项目的名称和编号、经费来源、起止年月、与本项目的关系及负责的内容等）；**

项目名称：南水北调中线调水对密云水库产嗅藻生长影响研究

项目编号：51508549

经费来源：国家自然科学基金委

起止年月：2016年1月1日-2018年12月31日

本项目为该项目的延续研究，该项目为本项目提供重要研究基础，重点考察了南水北调中线调水对密云水库中产嗅藻的影响，而本项目的研究则是在该项目基础上，进一步讨论为抑制产嗅藻的生长如何调整中线调水调度方案，是该项目的提升，由机理进一步转化为可应用的研究成果。

申请人全面负责该项目的方案设计和具体实施，包括指导学生、撰写论文和总结报告等工作。

**4. 完成国家自然科学基金项目情况（对申请人负责的前一个已结题科学基金项目（项目名称及批准号）完成情况、后续研究进展及与本申请项目的关系加以详细说明。另附该已结题项目研究工作总结摘要（限500字）和相关成果的详细目录）。**

申请者承担的自然科学基金项目尚未结题，计划于2018年12月结题。





### (三) 其他需要说明的问题

1. 申请人同年申请不同类型的国家自然科学基金项目情况（列明同年申请的其他项目的项目类型、项目名称信息，并说明与本项目之间的区别与联系。

无。

2. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在同年申请或者参与申请国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，申请或参与申请的其他项目的项目类型、项目名称、单位名称、上述人员在该项目中是申请人还是参与者，并说明单位不一致原因。

无。

3. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在与正在承担的国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，正在承担项目的批准号、项目类型、项目名称、单位名称、起止年月，并说明单位不一致原因。

无。

4. 其他。

无。



## 苏命 简历

中国科学院生态环境研究中心，环境水质学国家重点实验室，助理研究员

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

(1) 2007.9 - 2013.7, 中国科学院大学, 环境工程, 博士, 导师：杨敏

(2) 2003.9 - 2007.7, 武汉大学, 环境科学, 学士, 导师：吴兴国

科研与学术工作经历（按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾进入博士后流动站（或工作站）从事研究，请列出合作导师姓名）：

(1) 2015.5-至今, 中国科学院生态环境研究中心, 环境水质学国家重点实验室, 助理研究员

(2) 2013.7-2015.5, 中国科学院生态环境研究中心, 博士后, 合作导师：周伟奇

曾使用其他证件信息（申请人应使用唯一身份证件申请项目，曾经使用其他身份证件作为申请人或主要参与者获得过项目资助的，应当在此列明）：

主持或参加科研项目（课题）及人才计划项目情况：

1. 国家自然科学基金面上项目，51508549，南水北调中线调水对密云水库产嗅藻生长影响研究，2016/01-2018/12，24万元，在研，主持

2. 国家水专项，2015ZX07406001，饮用水特征嗅味物质识别与控制技术与示范，2015/01-2017/12，2700万元，在研，参与

3. 中国科学院国际合作项目，YSW2013A02，中国流域富营养化所带来的压力、影响以及缓解措施的管理过程模拟研究，2011/01-2014/12，80万元，已结题、参与

4. 国家自然科学基金重点项目，50938007，湖库型水源地蓝藻水华及其有害次生产物暴发机制，2010/01-2013/12，200 万元，已结题，参与

5. 国家自然科学基金面上项目，50809066，水源地蓝藻暴发临界状态环境因子阈值估算及安全预警，2009/01-2011/12，20万元，已结题，参与

6. 国家自然科学基金国际合作项目，50911120029，中国和澳大利亚湖库水源中蓝藻暴发及嗅味产生控制机理研究，2009/01-2010/12，9万元，已结题，参与

代表性研究成果和学术奖励情况（每项均按时间倒序排序）

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称（或会议论文集名称及起止页码）、会议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯



作者均加注上标“\*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。)

按照以下顺序列出：①10篇以内代表性论著；②论著之外的代表性研究成果和学术奖励。

### 一、10篇以内代表性论著

(1) **Ming Su**<sup>(#)</sup>; Dongmin Jia; Jianwei Yu<sup>(\*)</sup>; Rolf D. Vogt; Jingshi Wang; Wei An; Min Yang<sup>(\*)</sup>, [Reducing production of taste and odor by deep-living cyanobacteria in drinking water reservoirs by regulation of water level](#), Science of the Total Environment, 2017.1.6, 574: 1477~1483 (期刊论文)

(2) **Ming Su**<sup>(#)</sup>; Jianwei Yu<sup>(\*)</sup>; Junzhi Zhang; Hui Chen; Wei An; Rolf D. Vogt; Tom Andersen; Dongmin Jia; Jingshi Wang; Min Yang<sup>(\*)</sup>, [MIB-producing cyanobacteria \(Planktothrix sp.\) in a drinking water reservoir: Distribution and odor producing potential](#), Water Research, 2015.09.16, 68(0): 444~453 (期刊论文)

(3) **Ming Su**<sup>(#)</sup>; Wei An<sup>(\*)</sup>; Jianwei Yu; Shenling Pan; Min Yang, [Importance of underwater light field in selecting phytoplankton morphology in a eutrophic reservoir](#), Hydrobiologia, 2014.11.06, 724(1): 203~216 (期刊论文)

(4) **Ming Su**<sup>(#)</sup>; Jianwei Yu; Shenling Pan; Wei An<sup>(\*)</sup>; Min Yang, [Spatial and temporal variations of two cyanobacteria in the mesotrophic Miyun reservoir, China](#), Journal of Environmental Sciences, 2014.2.1, 26(2): 289~298 (期刊论文)

(5) **Ming Su**<sup>(#)</sup>; Virginie Gaget; Steven Giglio; Michael Burch; Wei An; Min Yang<sup>(\*)</sup>, [Establishment of quantitative PCR methods for the quantification of geosmin-producing potential and Anabaena sp. in freshwater systems](#), Water Research, 2013.03.20, 47(10): 3444~3454 (期刊论文)

(6) Li, Xia<sup>(#)</sup>; Yu, Jianwei<sup>(\*)</sup>; Guo, Qingyuan; **Su, Ming**; Liu, Tingting; Yang, Min; Zhao, Yu, [Source-water odor during winter in the Yellow River area of China: Occurrence and diagnosis](#), Environmental Pollution, 2016.11, 218: 252~258 (期刊论文)

(7) Jianwei Yu<sup>(#)</sup>; Juan Liu; Wei An; Yongjing Wang; Junzhi Zhang; Wei Wei; **Ming Su**; Min Yang<sup>(\*)</sup>, [Multiple linear regression model for bromate formation](#)



based on the survey data of source waters from geographically different regions across China, Environmental Science and Pollution Research, 2015.8.19, 22(2): 1232~1239 (期刊论文)

(8) Shenling Pan<sup>(#)</sup>; Wei An<sup>(\*)</sup>; Hongyan Li; **Ming Su**; Jinliang Zhang; Min Yang, Cancer risk assessment on trihalomethanes and haloacetic acids in drinking water of China using disability-adjusted life years, Journal of Hazardous Materials, 2014.07.28, 280(0): 288~294 (期刊论文)

(9) Yunyun Zhao<sup>(#)</sup>; Jianwei Yu<sup>(\*)</sup>; **Ming Su**; Wei An; Min Yang, A fishy odor episode in a north China reservoir: Occurrence, origin, and possible odor causing compounds, Journal of Environmental Sciences, 2013.12.12, 409(2): 2361~2366 (期刊论文)

## 二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励

(1) 杨敏; 李峥; 张昱; 安伟; **苏命**, 一种水样采集器与水质测量系统, 2012.5.2, 中国, CN201210134591.2 (专利)

(2) **苏命**, 细胞计数软件, 2017SR586674, 原始取得, 全部权利, 2017.09.03 (软件著作权)



除非特殊说明，请勿删除或改动简历模板中蓝色字体的标题及相应说明文字

## 参与者 简历

于志勇，中国科学院生态环境研究中心，环境水质学国家重点实验室，高级工程师

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

2005/09-2011/06，中国科学院生态环境研究中心，博士，导师：杨敏

2000/09-2013/06，吉林大学，化学学院，硕士，导师：余振宝

1995/09-1999/06，长春科技大学，理学院，学士，导师：杨敏

科研与学术工作经历（按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾进入博士后流动站（或工作站）从事研究，请列出合作导师姓名）：

格式：开始年月-结束年月，机构，部门，职称，（如为在站博士后研究人员或曾进入博士后流动站（或工作站）从事研究，请列出合作导师姓名）

例：

1. 2015/01-至今，中国科学院生态环境研究中心，环境水质学国家重点实验室，高级工程师

2. 2011/01-2014/12，中国科学院生态环境研究中心，环境水质学国家重点实验室，工程师

3. 2003/12-2010/12，中国科学院生态环境研究中心，环境水质学国家重点实验室，助理研究员

曾使用其他证件信息（申请人应使用唯一身份证件申请项目，曾经使用其他身份证件作为申请人或主要参与者获得过项目资助的，应当在此列明）

无

主持或参加科研项目（课题）及人才计划项目情况（按时间倒序排序）：

1. 国家自然科学基金面上项目，51508549，南水北调中线调水对密云水库产嗅藻生长影响研究，2016/01-2018/12，24万元，在研，参与
2. 国家自然科学基金，21477158，基于环境系统风险控制的污染基准制定技术研究，2015/01-2018/12，85万元，在研，参与
3. 国家水专项课题，2014ZX07405001，重点流域水源污染特征及饮用水安全保障策略研究，2014/01-2017/12，2200万元，已结题，参与



4. 国家自然科学基金, 21377144, 嗅味指纹技术结合构效关系模型识别河流水源中关键腥臭味物质的研究, 2014/01-2017/12, 82 万元, 已结题, 参加;
5. 国家自然科学基金, 50808171、饮用水中硫醚类致嗅物质的分布、形成机制与控制原理研究, 2009/01-2011/12, 21 万元, 已结题, 参加;
6. 国家自然科学基金, 50678166、饮用水中嗅味物质识别和控制技术研究, 2007/01-2009/12, 30 万元, 已结题, 参加;
7. 国家自然科学基金, 50578153、基于降解基因信息的壬基酚聚氧乙烯醚降解机制研究, 2006/01-2008/12, 30 万元, 已结题, 参加;
8. 国家自然科学基金, 50578155、微污染水源水体有机物优化混凝机理、工艺及操作规范, 2006/01-2008/12, 27 万元, 已结题, 参加;
9. 国家自然科学基金, 20477054、无机高分子絮凝剂的颗粒粒度效应、形成与影响机制及其应用, 2005/01-2007/12, 24 万元, 已结题, 参加。

#### 代表性研究成果和学术奖励情况（每项均按时间倒序排序）

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加以说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称（或会议论文集名称及起止页码）、会议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯作者均加注上标“\*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。）

按照以下顺序列出：①10篇以内代表性论著；②论著之外的代表性研究成果和学术奖励。

1. 于志勇，金芬，李红岩，安伟，杨敏<sup>\*</sup>，我国重点城市水源及水厂出水中乙草胺的残留水平，环境科学，2014，35(5)，1694～1697.

2. 于志勇，金芬，孙景芳，原盛广，郑蓓，张文婧，安伟，杨敏<sup>\*</sup>，北京市市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估，环境科学，2013，34(1)，251～256.

3. **Zhiyong Yu**, Ayfer Yediler<sup>#</sup>, Min Yang, Sigurd Schulte-Hostede, Leaching



behavior of enrofloxacin in three different soils and the influence of a surfactant on its mobility, *Journal of Environmental Sciences*, 2012, 24(3), 435-439.

4. **Zhiyong Yu**, Fen Jin, Jiangying Hu, Xi Zhang, Jingfang Sun, Min Yang<sup>#</sup>, An improved method for analyzing chlormequat and mepiquat in source waters by solid-phase extraction and liquid chromatography-mass spectrometry, *Analytica Chimica Acta*, 2010, 678(1), 90-95.

5. 于志勇, 余振宝, 张渊, 李俊峰, 助磨剂的试验研究, *世界地质*, 2002, 21(4), 411-414.

NSFC 2018





除非特殊说明，请勿删除或改动简历模板中蓝色字体的标题及相应说明文字

## 参与者 简历

郭庆园，中国科学院生态环境研究中心，博士后

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

2011/09-2016/07，中国科学院生态环境研究中心，环境水质学国家重点实验室，博士，导师：杨敏 研究员

2009/07-2012/01，青岛理工大学，环境科学与工程学院，硕士，导师：谢经良 教授

2004/09-2008/07，青岛理工大学，环境科学与工程学院，学士

科研与学术工作经历（按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾进入博士后流动站（或工作站）从事研究，请列出合作导师姓名）：

1. 2017/01-至今，中国科学院生态环境研究中心，博士后，合作导师：庄国强

曾使用其他证件信息（申请人应使用唯一身份证件申请项目，曾经使用其他身份证件作为申请人或主要参与者获得过项目资助的，应当在此列明）

无

主持或参加科研项目（课题）及人才计划项目情况（按时间倒序排序）：

国家自然科学基金青年项目，21707117，饮用水中特征致嗅物质的嗅味协同效应研究，2018/01-2020/12，25万元，在研，参与

代表性研究成果和学术奖励情况（每项均按时间倒序排序）

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加以说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称（或会议论文集名称及起止页码）、会议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯作者均加注上标“\*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励





中本人姓名加粗显示。)

按照以下顺序列出：①10篇以内代表性论著；②论著之外的代表性研究成果和学术奖励。

### 一、期刊论文

示例

(1) **Guo Qingyuan**, Yang Kai, Yu Jianwei\*, Wang Chunmiao, Zhang Liping, Yang Min, Xia Ping, Zhang Dong, Simultaneous removal of multiple odorants from source water suffering from septic and musty odors: verification in a full-scale water treatment plant with ozonation, Water Research. 2016, 100: p. 1-6.

(2) **Guo Qingyuan**, Yu Jianwei\*, Yang Kai, Wen Xiaodong, Zhang Haifeng, Yu Zhiyong, Li Hongyan, Zhang Dong, Yang Min, Identification of complex septic odorants in Huangpu River source water by combining the data from gas chromatography-olfactometry and comprehensive two-dimensional gas chromatography using retention indices. Science of the Total Environment. 2016, 556, 36-44.

(3) **Guo Qingyuan**, Li Xia, Yu Jianwei\*, Zhang Haifeng, Zhang Yu, Yang Min, Lu Ning, Zhang Dong, Comprehensive two-dimensional gas chromatography with time-of-flight mass spectrometry for screening of potent swampy/septic odor causing compounds in two drinking water sources of China. Analytical Methods. 2015, 7 (6), 2458-2468.

(4) Yang Kai, Yu Jianwei\*, **Guo Qingyuan**, Wang Chunmiao, Yang Min, Zhang Yu, Xia Ping, Zhang Dong, Yu Zhiyong, Comparison of micropollutants' removal performance between pre-ozonation and post-ozonation using a pilot study. Water Research, 2017. 111: p. 147-153.

(5) Li Xia, Yu Jianwei\*, **Guo Qingyuan**, Su Ming, Liu Tingting, Yang Min, Zhao Yu. Source-water odor during winter in the Yellow River area of China: Occurrence and diagnosis. Environmental Pollution. 2016, 218, 252-258.



## 附件信息

序号	附件名称	备注	附件类型
1	STE	基于水位调控产嗅藻原理	代表性论著
2	WR1	密云水库浮颤藻产嗅潜力评估	代表性论著
3	Hydrobiologia	基于藻细胞形态解释藻类种群季节演替机制	代表性论著
4	JES	密云水库微囊藻与浮颤藻	代表性论著
5	WR2	基于定量PCR方法开发快速测定土臭素方法	代表性论著
6	专利	一种水样采集器	专利
7	软件著作权	细胞计数软件	其他

NSFC 2018

**签字和盖章页(此页自动生成, 打印后签字盖章)**

接收编号: 5187083224

申请人: 苏命

依托单位: 中国科学院生态环境研究中心

项目名称: 丝状产嗅蓝藻光响应机制与水源水库中原位控制策略研究

资助类别: 面上项目

亚类说明:

附注说明:

**申请人承诺:**

我保证申请书内容的真实性。如果获得资助, 我将履行项目负责人职责, 严格遵守国家自然科学基金委员会的有关规定, 切实保证研究工作时间, 认真开展工作, 按时报送有关材料。若填报失实和违反规定, 本人将承担全部责任。

签字:

**项目组主要成员承诺:**

我保证有关申报内容的真实性。如果获得资助, 我将严格遵守国家自然科学基金委员会的有关规定, 切实保证研究工作时间, 加强合作、信息资源共享, 认真开展工作, 及时向项目负责人报送有关材料。若个人信息失实、执行项目中违反规定, 本人将承担相关责任。

编号	姓名	工作单位名称 (应与加盖公章一致)	证件号码	每年工作 时间(月)	签字
1	于志勇	中国科学院生态环境研究中心	220104197607172612	6	
2	郭庆园	中国科学院生态环境研究中心	371122198509207456	4	
3	贾泽宇	中国科学院生态环境研究中心	140430199007100015	7	
4	刘婷婷	中国科学院生态环境研究中心	130625198803106323	5	
5	陆金平	中国科学院生态环境研究中心	340823199309154436	10	
6					
7					
8					
9					

**依托单位及合作研究单位承诺:**

已按填报说明对申请人的资格和申请书内容进行了审核。申请项目如获资助, 我单位保证对研究计划实施所需要的人力、物力和工作时间等条件给予保障, 严格遵守国家自然科学基金委员会有关规定, 督促项目负责人和项目组成员以及本单位项目管理部门按照国家自然科学基金委员会的规定及时报送有关材料。

依托单位公章

日期:

合作研究单位公章1

日期:

合作研究单位公章2

日期: