



项目批准号	52030002
申请代码	E1001
归口管理部门	
依托单位代码	10008508B1317-2421



520300021011905

国家自然科学基金委员会

资助项目计划书

资助类别: 重点项目

亚类说明:

附注说明: 水库型水源地生态特征与污染防控

项目名称: 水库型水源地藻类生态特征及产嗅藻原位调控原理

直接费用: 300万元 执行年限: 2021.01-2025.12

负责人: 杨敏

通讯地址: 北京市海淀区双清路18号

邮政编码: 100085 电 话: 010-62928390

电子邮件: yangmin@rcees.ac.cn

依托单位: 中国科学院生态环境研究中心

联系人: 张博 电 话: 010-62849178

填表日期: 2020年09月22日

国家自然科学基金委员会制

国家自然科学基金委员会资助项目计划书填报说明

一、项目负责人收到《关于国家自然科学基金资助项目批准及有关事项的通知》（简称《批准通知》）后，请认真阅读本填报说明，参照国家自然科学基金相关项目管理办法和《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》（请查阅国家自然科学基金委员会官方网站首页“政策法规”栏目），按《批准通知》的要求认真填写和提交《国家自然科学基金委员会资助项目计划书》（简称《计划书》）。

二、填写《计划书》时要科学严谨、实事求是、表述清晰、准确。《计划书》经国家自然科学基金委员会相关项目管理部门审核批准后，将作为项目研究计划执行、检查和验收的依据。

三、《计划书》各部分填写要求如下：

（一）简表：由系统自动生成。

（二）摘要及关键词：各类获资助项目都应当填写中、英文摘要及关键词。

（三）项目组主要成员：计划书中列出姓名的项目组主要成员由系统自动生成，与申请书原成员保持一致，不可随意调整。如果批准通知中“项目评审意见及修改意见表”中“对研究方案的修改意见”栏目有调整项目组成员相关要求的，待项目开始执行后，按照项目成员变更程序另行办理。

（四）资金预算表：根据批准资助的直接费用，按照《国家自然科学基金项目预算表编制说明》填报资金预算表和预算说明书。国家重大科研仪器研制项目、重大项目还应按照预算评审后批复的直接费用各科目金额填报资金预算表、预算说明书及相应的预算明细表。国家杰出青年科学基金项目资助经费试行包干制管理，无需填报资金预算表和预算说明书。

（五）正文：

1.面上项目、青年科学基金项目、地区科学基金项目：如果《批准通知》中没有修改要求的，只需选择“研究内容和研究目标按照申请书执行”即可；如果《批准通知》中“项目评审意见及修改意见表”中“对研究方案的修改意见”栏目明确要求调整研究期限和研究内容等的，须选择“根据研究方案修改意见更改”并填报相关修改内容。

2.重点项目、重点国际（地区）合作研究项目、重大项目、国家重大科研仪器研制项目、原创探索计划项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，根据《批准通知》的要求填写研究（研制）内容，不得自行降低、更改研究目标（或仪器研制的技术性能与主要技术指标以及验收技术指标）或缩减研究（研制）内容。此外，还要突出以下几点：

（1）研究的难点和在实施过程中可能遇到的问题（或仪器研制风险），拟采用的研究（研制）方案和技术路线；

（2）项目主要参与者分工，合作研究单位（如有）之间的关系与分工，重大项目还需说明课题之间的关联；

（3）详细的年度研究（研制）计划。

3. 国家杰出青年科学基金、优秀青年科学基金和创新研究群体项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，按下列提纲撰写：
 - (1) 研究方向；
 - (2) 结合国内外研究现状，说明研究工作的学术思想和科学意义（限两个页面）；
 - (3) 研究内容、研究方案及预期目标（限两个页面）；
 - (4) 年度研究计划；
 - (5) 研究队伍的组成情况。
4. 国家自然科学基金基础科学中心项目：须选择“根据研究方案修改意见更改”，应当根据评审委员会和现场考察专家组的意见和建议，进一步完善并细化研究计划，作为评估和验收的依据。按下列提纲撰写：
 - (1) 五年拟开展的研究工作（包括主要研究方向、关键科学问题与研究内容）；
 - (2) 研究方案（包括骨干成员之间的分工及合作方式、学科交叉融合研究计划等）；
 - (3) 年度研究计划；
 - (4) 五年预期目标和可能取得的重大突破等；
 - (5) 研究队伍的组成情况。
5. 对于其他类型项目，参照面上项目的方式进行选择和填写。

简表

项 目 负 责 人 信 息	姓 名	杨敏	性 别	男	出生年月	1964年02月	民 族	汉族	
	学 位	博士			职 称	研究员			
	是否在站博士后	否		电子 邮 件	yangmin@rcees.ac.cn				
	电 话	010-62928390		个人 网 页					
	工作 单 位	中国科学院生态环境研究中心							
	所 在 院 系 所								
依 托 单 位 信 息	名 称	中国科学院生态环境研究中心				代 码	10008508B13 17		
	联 系 人	张博		电子 邮 件	bozhang@rcees.ac.cn				
	电 话	010-62849178		网 站 地 址	www.rcees.ac.cn				
合 作 单 位 信 息	单 位 名 称								
	中国科学院水生生物研究所								
项 目 基 本 信 息	项 目 名 称	水库型水源地藻类生态特征及产嗅藻原位调控原理							
	资 助 类 别	重点项目			亚类说明				
	附 注 说 明	水库型水源地生态特征与污染防控							
	申 请 代 码	E1001:饮用水工程							
	基 地 类 别								
	执 行 年 限	2021.01-2025.12							
	直 接 费 用	300万元							

科学问题属性

- “鼓励探索，突出原创”：科学问题源于科研人员的灵感和新思想，且具有鲜明的首创性特征，旨在通过自由探索产出从无到有的原创性成果。
- “聚焦前沿，独辟蹊径”：科学问题源于世界科技前沿的热点、难点和新兴领域，且具有鲜明的引领性或开创性特征，旨在通过独辟蹊径取得开拓性成果，引领或拓展科学前沿。
- “需求牵引，突破瓶颈”：科学问题源于国家重大需求和经济主战场，且具有鲜明的需求导向、问题导向和目标导向特征，旨在通过解决技术瓶颈背后的核心科学问题，促使基础研究成果走向应用。
- “共性导向，交叉融通”：科学问题源于多学科领域交叉的共性难题，具有鲜明的学科交叉特征，旨在通过交叉研究产出重大科学突破，促进分科知识融通发展为完整的知识体系。

请阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）：

“十一五”以来全国规模的饮用水水质调查发现，嗅味是我国最突出的水质问题之一，我国超过80%的地表水源均存在嗅味问题，其中由2-甲基异莰醇（MIB）导致的土霉味是最主要的嗅味类型。MIB为由丝状蓝藻代谢产生的挥发性萜类化合物，其嗅阈值非常低（ 10 ng/L ），MIB污染会严重影响饮用水品质和用水体验。常规水厂净水工艺对MIB去除基本无效，虽然粉末活性炭吸附、臭氧-活性炭深度处理等技术可以有效去除MIB，但处理能力有限，当水源水中MIB含量超过一定限值时，仅依靠水厂净化工艺完全去除嗅味十分困难。

MIB的普遍发生与近年来湖库在我国饮用水源中占比不断增加密切相关。湖库型水源特殊的水动力学条件为包括产嗅藻在内的藻类生长创造了良好条件，增加了藻源性嗅味污染的风险。找到一种可以在水库中有效抑制产嗅藻生长的方法是彻底解决藻源性嗅味污染问题的关键。然而，由于饮用水源的特殊性，现有的各种化学和非化学控藻方法在解决湖库型水源中嗅味问题方面存在较大局限性：在水源地使用化学药剂生态和健康风险大，曝气或生物操纵方法控藻效果又不是很理想。前期研究发现，有些丝状产嗅藻具有在亚表层或浅水底部生长的特点，容易受到水下光照条件的影响。一般来说，通过泵闸操控等手段可以在一定程度上改变水库内部的水文状态，进而影响水库水下光照条件。因此，本项目提出基于产嗅藻生态位特征进行嗅味原位调控的思路。

本项目拟在系统分析我国不同区域水库中优势水华蓝藻与产嗅藻的时空分布特征的基础上，阐明关键环境因子对产嗅藻生长的影响，揭示产嗅藻与优势水华蓝藻之间的竞争生长机制，筛选出抑制产嗅藻生长的主控因子与边界条件，构建并耦合产嗅藻生长模型与水库水力学模型，提出基于产嗅藻生态位特征的嗅味原位调控原理，为水源水库中产嗅藻生长及嗅味污染控制的实施策略提供科学依据。

项目摘要

中文摘要：

由丝状蓝藻代谢2-甲基异莰醇（MIB）导致的嗅味问题在水源水库中普遍发生，已成为影响我国饮用水水质的重要问题。即使在水厂中采用深度处理工艺，MIB去除也十分有限，在水库中抑制产嗅藻生长是彻底解决嗅味污染问题的关键。前期研究发现有些丝状产嗅藻具有在亚表层或浅水底部生长的特点，易受到水下光照的影响。通过泵闸操控等手段可改变水库内部水动力及水下光照等条件。因此，本项目提出基于产嗅藻生态位特征进行嗅味原位调控的思路。在系统分析不同地区水库中优势水华蓝藻与产嗅藻时空分布特征的基础上，通过模拟实验解析关键环境因子对产嗅藻生长的影响，揭示其与优势蓝藻间的竞争生长机制，筛选出抑制其生长的主控因子与边界条件，通过构建并耦合产嗅藻生长模型与水库水力学模型，提出基于产嗅藻生态位特征的嗅味原位调控原理和基于水库操控模式的调控策略。该研究能提升对水源水库中藻类生态过程的认识，也可为饮用水嗅味问题的解决提供新思路。

Abstract:

The taste & odor (T&O) problems caused by typical earthy-smelly odorant MIB (2-methylisopropanol) are frequently observed in source water reservoirs, it has become an essential water quality issue regarding the drinking water safety in China. Filamentous cyanobacteria have been identified as the main producers of MIB in surface water. MIB removal in drinking water plant is limited even by advanced treatment process, hence it has great potential to solve the odor problem by controlling the growth of odor producing cyanobacteria (OPC) in source water. Preliminary study revealed that the sub-surface and deep layer in the water column is the preferred niche for OPC, the underwater light turns to be a key driver of them. This project proposed an in-situ control strategy based the ecological characteristics of OPC. The temporal and spatial distribution of the dominant cyanobacteria and OPC will be investigated in various reservoirs in China, and the relationship between their growth and environmental factors as well as the competition with dominant cyanobacteria will be identified by both pure and mix culture experiments in laboratory; the key driving factors to control the OPC will be subsequently sorted out. Coupled with the growth model of OPC, the hydrodynamic model in a particular reservoir will be established, and the control mechanism and strategy based on the ecological characteristics of OPC will finally proposed as the main output of this project. This study can improve the knowledge of OPC, and can open a new approach to solved the odor problem in drinking water.

关键词(用分号分开): 饮用水水源；嗅味；产嗅藻；原位控制；水下光照

Keywords(用分号分开): drinking water sources; taste and odor; odor-producing cyanobacteria; in-situ control; underwater light



项目组主要成员

编号	姓名	出生年月	性别	职称	学位	单位名称	电话	证件号码	项目分工	每年工作时间(月)
1	杨敏	1964. 02	男	研究员	博士	中国科学院生态环境研究中心	010-62928390	310104196402264094	项目负责人	8
2	苏命	1984. 10	男	副研究员	博士	中国科学院生态环境研究中心	010-628433038	430922198410188514	产嗅藻数据库构建与原位调控原理	6
3	张琪	1985. 05	男	高级实验师	博士	中国科学院水生生物研究所	027-68780871	421182198505214131	产嗅蓝藻的分离、鉴定和培养	6
4	张海峰	1979. 01	男	副研究员	博士	中国科学院生态环境研究中心	01062849149	210202197901142714	嗅味等污染物测定与分析	6
5	张洪刚	1980. 07	男	助理研究员	博士	中国科学院生态环境研究中心	01062943436	110224198007083616	藻类生长与环境响应研究	6
6	王春苗	1990. 10	女	博士生	学士	中国科学院生态环境研究中心	15321809984	23012219901011232X	嗅味物质测定与分析	10
7	MD SURUZZAMAN	1988. 10	男	博士生	硕士	中国科学院生态环境研究中心	18813151343	BP 0492860	产嗅藻分子生物学实验	10
8	陆金平	1993. 09	男	博士生	学士	中国科学院生态环境研究中心	18801235682	340823199309154436	藻类原位数据监测与分析	10
9	高广斌	1996. 08	男	硕士生	学士	中国科学院水生生物研究所	17835422491	140222199608120010	产嗅蓝藻采集和鉴定	10
10	曹腾心	1997. 01	女	硕士生	学士	中国科学院生态环境研究中心	18810521950	370784199701014027	产嗅藻生长过程原位研究	10
总人数			高级		中级		初级		博士后	博士生
10			4		1				3	2

国家自然科学基金项目直接费用预算表（定额补助）

项目批准号：52030002

项目负责人：杨敏

金额单位：万元

序号	科目名称	金额
1	项目直接费用合计	300.0000
2	1、设备费	48.0000
3	(1)设备购置费	20.0000
4	(2)设备试制费	22.00
5	(3)设备升级改造与租赁费	6.00
6	2、材料费	50.0000
7	3、测试化验加工费	45.4000
8	4、燃料动力费	12.0000
9	5、差旅/会议/国际合作与交流费	44.6000
10	6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	11.0000
11	7、劳务费	76.0000
12	8、专家咨询费	5.0000
13	9、其他支出	8.00

预算说明书（定额补助）

（请按照《国家自然科学基金项目预算表编制说明》的有关要求，对各项支出的主要用途和测算理由，以及合作研究外拨资金、单价 \geq 10万元的设备费等内容进行必要说明。）

本基金项目直接经费预算300.00万元，各科目具体预算说明如下：

（一）设备费 48.00 万元

设备费预算 48.00 万元，其中包括购置设备费 20.00 万元，试制设备费 22.00 万元，设备升级改造费 6.00 万元。详细明细如下：

1. 购置设备费预算 20.00 万元

水下光谱仪：本研究拟对天然水体中水下光谱分布和藻类光合色素进行调查，用于支撑研究内任务中产嗅藻的光响应机制研究内容，目前尚不具备该仪器。故需购置水下光谱仪 1 台，预算 17.00 万元。

常规藻类培养箱：项目中分离的藻种需要独立保存以保证其纯度，依托单位实验室原有藻类培养箱已无法正常工作，拟采购一台常规藻类培养箱，预算 1.20 万。

样品前处理装置：项目中涉及大量原位采样，样品需经过滤等前处理过程，拟购置 2 台蠕动泵及抽滤装置，预算合计 1.80 万元。

2. 试制设备费预算 22.00 万元

藻类培养系统：项目需对丝状产嗅藻的生长、产嗅潜力进行表征，在实验室培养阶段需对培养的光照、温度及湿度等进行精确控制；产嗅藻与其它藻类的竞争生长实验需用到定制的培养装置，体积较大，一般的生物培养箱不能满足要求，故需要定制藻类培养系统开展产嗅藻模拟培养实验，预算 7.00 万元。

中试藻类模拟系统：项目中涉及原位中试模拟实验，用于补充验证实验室结果，需搭建中试模拟装置，实现原位条件下温度、光照、水动力等方面的模拟，整套模拟系统预算约 15.00 万元。

3. 设备升级改造费预算 6.00 万元

依托单位现有一台多参数水质测试仪（EX02），用于水库原位调查，该仪器的部分探头需要定期更换，以确保数据有效性。拟在项目执行中更新 pH 探头

(ORP)、溶解氧探头及叶绿素探头，合计约 6.00 万元。

综上，设备费预算合计 48.00 万元。

（二）材料费 50.00 万元

材料费是指在项目研究过程中消耗的各种原材料、辅助材料、低值易耗品等的采购及运输、装卸、整理等费用。

本项目需要分析全国不同地区水库的水质指标，所需实验室常规耗材如手套、口罩、进样瓶、离心管等预算合计 12.00 万元，另购置在线监测探头、藻类采样器、计数板、过滤滤膜、嗅味标准品、DNA 提取试剂盒和分子生物实验等专用耗材预算 38.00 万元。

综上，实验室常规耗材和专用耗材预算合计 50.00 万元。

（三）测试化验加工费 45.40 万元

测试化验加工费是指在项目研究过程中支付给外单位(包括依托单位内部独立经济核算单位)的检验、测试、化验及加工等费用。

本项目测试费主要用于藻类种属鉴定、MIB 功能基因文库构建、LC-MS 嗅味物质分析、微生物群落结构多样性和藻类定性定量鉴定、高通量测序、藻类内部细胞结构分析等支出，测试费合计预算 45.40 万元。

（四）燃料动力费 12.00 万元

课题研究过程中相关大型仪器设备、模拟实验装置等运行发生的水、电、气、燃料消耗费用。

电费预算 8.40 万元：参照依托单位及合作单位的实际收费价格确定，按 1.2 元/度核算。

2 套模拟反应器运行：模拟反应器连续运行 3 年，耗电量每小时 1 度，电费合计： $1 \text{ 度}/\text{小时} \times 26280 \text{ 小时} \times 1.2 \text{ 元}/\text{度} = 3.15 \text{ 万元}$ 。

藻类培养室常年运行，连续运行 5 年，每天耗电 24 度，合计用电量为 $24 \text{ 度}/\text{天} \times 365 \text{ 天} \times 5 \text{ 年} \times 1.2 \text{ 元}/\text{度} = 5.25 \text{ 万元}$

水费预算 3.60 万元：根据历年用水量，实验室模拟装置所用水预计 2.20 万元，大型仪器运行用水预计 1.40 万元。

(五) 差旅/会议/国际合作与交流费 44. 60 万元

差旅/会议/国际合作与交流费是指在项目研究过程中开展科学实验(试验)、科学考察、业务调研、学术交流等所发生的外埠差旅费、市内交通费用；为了组织开展学术研讨、咨询以及协调项目研究工作等活动而发生的会议费用；以及项目研究人员出国及赴港澳台、外国专家来华及港澳台专家来内地工作的费用。本项目差旅费预算29. 00万元；会议费预算5. 50万元，国际合作交流费12. 10万元，具体预算说明如下：

1. **差旅费29. 00万元**：为了解国内不同区域水库藻类特征，要前往珠海，上海，北京，天津，武汉，深圳，苏州等地多个典型湖库进行采样，包括常规调查与长期监测两种模式。

常规调查：根据研究内容 1，选定北京、天津、武汉、深圳、苏州等城市约 20 个湖库每年采样 2 次，用于产嗅藻调查及分离工作。测算依据：项目执行期预计往返以上城市 40 次，采样人员 2 人/次，每次采样时间为 3 天，住宿费等每人 400 元/天，伙食及市内交通费补贴 100 元/人天，往返差旅费平均为 500 元/人/次，则采样差旅费为： $(400 \text{ 元}/\text{天}/\text{人} \times 3 \text{ 天} + 100 \text{ 元}/\text{天}/\text{人} \times 3 \text{ 天} + 500 \text{ 元}) \times 2 \text{ 人}/\text{次} \times 40 \text{ 次} = 16.00 \text{ 万元}$ 。

长期监测：本项目拟在珠海水库群和上海青草沙水库开展长期监测调查，按每年前往两地分别采样 10 次，采样人员 2 人/次，每次采样时间为 3 天，住宿费平均每人 400 元/天，伙食及市内交通费补贴 100 元/人天，往返差旅费平均为 600 元/人/次，则采样差旅费为： $(400 \text{ 元}/\text{天}/\text{人} \times 3 \text{ 天} + 100 \text{ 元}/\text{天}/\text{人} \times 3 \text{ 天} + 600 \text{ 元}) \times 2 \text{ 人}/\text{次} \times 20 \text{ 次} = 8.40 \text{ 万元}$ 。

参加国内学术会议发生差旅：课题组人员参加国内湖库及嗅味相关学术会议，每年 1 次，每次 4 人参加，每次会议往返 3 天。往返交通费 800 元/人，住宿费 400 元/人天，伙食及市内交通费补贴 100 元/人天，共计 $(400 \text{ 元}/\text{天}/\text{人} \times 3 \text{ 天} + 100 \text{ 元}/\text{天}/\text{人} \times 3 \text{ 天} + 800 \text{ 元}/\text{人}) \times 4 \text{ 人次} \times 5 \text{ 次} = 4.60 \text{ 万元}$ 。

2. **会议费 5. 50 万元**：课题承担单位拟组织召开课题启动会，年度技术交流会、课题成果总结等会议，预计 5 年共组织会议 5 次，每次 20 人参加，每次会议天数为 1 天。根据《中央和国家机关会议费管理办法》三类会议标准，住宿费每人每天为 340 元，伙食费 130 元，加上会场等其他费用每人每天合计为 550

元。会议费用合计：550 元/人/天×20 人/次×5 次×1 天/次=5.50 万元。

3. 国际合作交流费 10.10 万元：包括出访学术交流及邀请国际知名专家来华开展学术交流活动。其中课题组人员参加国际湖库产嗅藻相关国际学术会议，2 人次 4 天，（往返机票交通费 12000 元/人+住宿费 600 元/人天×4 天+伙食及交通费补贴 400 元/人天×4 天）× 2 人=3.20 万元。拟邀请澳大利亚、美国、荷兰等外国专家共 5 人次来华进行学术交流，每次 3 天，（往返机票交通费 12000 元/人+住宿费 600 元/人天×3 天）× 5 人次=6.90 万元。

（六）出版/文献/信息传播/知识产权事务费 11.00 万元

出版/文献/信息传播/知识产权事务费是指在项目研究过程中，需要支付的出版费、资料费、专用软件购买费、文献检索费、专业通信费、专利申请及其他知识产权事务等费用。

本项目拟发表文章 20 篇，平均版面费 3000 元/篇，合计 6.00 万元；拟申请专利 2 项，软件著作权 1 项，申请费用每项 5000 元，合计 1.50 万元；文献检索和资料费预计 3.50 万元。综上，出版/文献/信息传播/知识产权事务费合计预算 11.00 万元。

（七）劳务费 76.00 万元

劳务费主要用于参加项目研究的研究生、临时聘用人员的劳务费，投入本项目研究的博士 3 名、硕士生 2 名，临时聘用人员 2 名。五年支付劳务费 76.00 万元。详细测算说明如下：

每个博士研究生每年为该项目工作 10 个月，课题组每人每月支付 2200 元/月，其余部分由所里支付，每个硕士研究生每年为该项目工作 10 个月，课题组每人每月支付 1300 元/月，其余部分由所里支付，研究生主要负责典型嗅味问题水库在嗅味期间取样并分离丝状蓝藻，确认产嗅藻株，以及在代表性水源水库开展原位藻类、嗅味等监测工作；其主要任务为基于实验室培养与原位模拟实验结果，率定水力学模型参数，模拟不同运行条件，评估各工况下产嗅藻控制效果。2 名临时聘用人员每年为该项目投入 6 个月，课题组每人每月支付 5000 元，其主要工作为协助课题组现场采样，模拟实验装置维护工作。

1. 博士研究生，2200 元/人月×3 人×10 月/年×5 年=33.00 万元

2. 硕士研究生, 1300 元/人月×2 人×10 月/年×5 年=13.00 万元
 3. 临时聘用人员, 5000 元/月×2 人×6 月/年×5 年=30.00 万元
- 综上所述, 劳务费预算合计 76.00 万元

(八) 专家咨询费 5.00 万元

是指在项目研究过程中支付给临时聘请的咨询专家的费用。本研究拟在课题启动会、技术交流会、课题成果总结会、学术交流等会议邀请行业专家进行咨询指导, 预计共邀请行业专家 25 人, 每次会议时间为 1 天, 专家费为 2000 元/人/天, 专家费合计 25 人×2000 元/人=5.00 万元。

(九) 其他支出 8.00 万元

本课题研究的湖库大多在外地, 因此水样需用恒温快递运回实验室进行分析, 因此而发生的水样快递费 5 年总计预算 8.00 万元。

合作研究单位外拨直接资金, 预算 65.00 万元

根据依托单位(中国科学院生态环境研究中心)与合作单位(中国科学院水生生物研究所)签署的《联合申报国家自然科学基金项目合作协议书》, 合作单位在本项目中主要承担如下研究任务:

1. 开展产嗅蓝藻的采样、分离、鉴定和藻种的培养、驯化工作;
2. 根据产嗅藻分离情况负责部分典型产嗅藻的条件实验;
3. 以本项目为第一资助发表 SCI 论文 3 篇以上。

执行研究任务所需经费及主要预算说明如下:

设备费: 0 万元。

材料费: 16.20 万元。主要用于购买实验室常规耗材(6.53 万元)及用于藻类培养、生理生态和分子研究的专用试剂和耗材(9.67 万元)。

测试化验加工费: 14.00 万元。测试费主要用于需要大型仪器测定的指标, 包括细胞超微结构分析、LC-MS 嗅味物质分析、微生物群落结构多样性和藻类定性定量等。

燃料动力费: 2.20 万元。主要用于采样租车费用。

差旅费/会议费/国际合作与交流费: 11.10 万元。含 1) 差旅费(7.50 万元):

用于采样、原位实验、课题讨论及国内学术会议；2) 国际合作与交流费（3.60万元）：用于参加国际学术会议。

出版/文献/信息传播/知识产权事务费：2.00 万元。用于项目中所需的资料费。

劳务费：19.50 万元。用于 1 名硕士研究生及 1 名临时聘用人员劳务费。

专家咨询费：0 万元。

其他支出：0 万元。

报告正文

一、 项目的研究内容

1、 我国代表性湖库产嗅期藻类生态特征识别及其驱动因子分析

利用研究团队前期积累的丝状产嗅藻资源，构建包含标记基因-功能基因-基因组序列三级数据及产嗅藻生理特征的产嗅藻数据库，在此基础上建立产嗅藻的高通量定量 PCR 方法以及单细胞融合 PCR (epicPCR) 方法用于产嗅藻识别；选取我国不同区域 20 个代表性湖库水源地，综合应用宏基因组测序、上述分子生物学方法、显微镜镜检及藻种分离等方法，分析产嗅期湖库中优势水华蓝藻与产嗅藻的时空分布特征，并与相关环境因子（如光照、温度、水动力、营养元素等）进行统计学分析，解析影响产嗅藻生长的主要驱动因子。

2、 典型丝状产嗅藻对环境条件的响应及与水华蓝藻的竞争生长机制

选定上述典型产嗅藻，应用实验室模拟手段，进一步研究不同环境因子（如光照、温度、水动力、营养元素等）对产嗅藻生长和产嗅特征的影响；在此基础上构建产嗅藻生长模型，并通过原位中试模拟对模型进行校核，确定各关键环境因子抑制产嗅藻生长的临界阈值；结合实验室与原位中试模拟手段，模拟研究微囊藻等水华蓝藻共存下产嗅藻的生长过程，揭示不同丝状产嗅藻与水华蓝藻之间的竞争生长机制，并在不同区域的 3 个水库开展长期跟踪进行确认。

3、 产嗅藻的原位调控原理及实施策略研究

选择一个高产嗅水库，通过现场调查、历史资料搜集及在线监测等方式获取基础数据，构建水库水力学模型，探明水库运行操控模式对水环境因子的影响；耦合产嗅藻生长模型，研究产嗅藻对水库运行操控模式的响应，提出基于产嗅藻生态位特征的原位调控原理，结合现场中试实验，提出水源水库中产嗅藻的原位控制策略。

二、 研究的难点和在实施过程中可能遇到的问题，拟采用的研究（研制）方案和技术路线

1、研究的难点

难点 1-丝状产嗅藻与微囊藻的竞争生长机制:丝状产嗅藻能否在与微囊藻等常见水华型蓝藻对营养物质、生长空间的竞争中胜出在很大程度上决定了 MIB 发生的状况。因此，深入认识典型丝状产嗅藻的生态位特征，揭示其与微囊藻等常见水华型蓝藻之间的竞争机制是本研究中拟解决的关键科学问题，这也是丝状产嗅藻原位调控的科学基础。

难点 2-丝状产嗅藻的原位调控原理:如何在深入认识典型产嗅藻对水库环境条件变化的响应机制的基础上，提出产嗅藻的原位调控原理是拟解决的另一个关键科学问题。本项目拟通过构建并耦合产嗅藻生长模型与水库水力学模型，揭示产嗅藻对水库运行操控模式的响应，进而提出基于产嗅藻生态位特征的原位调控原理。

2、实施过程中可能遇到的问题

问题 1-部分产嗅藻纯种获取难度较大:本项目中需要建立产嗅藻数据库，但现已知的部分产嗅藻种分离自国外水体，这些藻种在国内乃至全球已无纯种保存，因此获取难度较大甚至无法获取。

问题 2-基于单细胞融合 PCR 的产嗅藻识别具有较大挑战:单细胞融合 PCR 首先需要通过油水混合体系对产嗅藻进行单细胞水平的分离，然后在细胞内对 16S rRNA 基因和表达产嗅能力的 *mic* 基因进行基因融合 PCR，最后对融合产物进行高通量测序，从而实现复杂微生物群落中产嗅藻的解析。其中，单细胞分离以及基因融合 PCR 均为较新的技术，实现难度较大，可能会在实施过程存在问题。

3、拟采用的研究方案

水库调查:选择珠海、深圳、上海、苏州、北京、天津、大连等地存在 MIB 嗅味问题的 20 个典型水库，在各水库嗅味发生期开展生态调查。采用多参数水质监测仪（EXO2）、水下光谱分析仪等仪器原位采集基本理化指标，重点包括各采样点温度、光照、光谱、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（显微镜计数与分子生物学检测相结合）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；采用 ICP-MS、GC-MS、LC-MS、流动注射仪等设备进行水源水质进行全面分析，揭示产嗅过程中营养盐、微量元素、嗅味物质以及生物小分子等的变化；另选择珠海水库群、青草沙水库、密云水库为代表水库，在项目执行期开展连续监测调查。对产嗅藻生长与各种环境因子进行统计分析，识别出关键环境因子。

丝状蓝藻分离与培养：在各水库嗅味发生期间用浮游生物网采集藻类微生物样品，富集、培养后采用巴斯德型吸管分离法、毛细管分离法和平板划线等方法获得丝状藻单藻株，采用嗅味评价和仪器分析法筛选出产嗅的藻株，再用稀释平板和超速离心法纯化，接入藻株至合适培养基进行扩大培养；利用蓝藻的 16S rRNA、16S-23S rRNA 等相关基因区域设计引物，采用 PCR 技术扩增、克隆和测序，获得不同藻株的系统发育信息，结合以光学显微镜和电子显微镜观察获得的形态学结果进行藻种鉴定。

MIB 产嗅藻生长及产嗅特征分析：在实验室利用藻类培养系统扩大培养分离得到的藻株，测定培养液中 MIB 的浓度，鉴别出产嗅藻株并结合显微镜计数方法评估各藻株的单位细胞产嗅潜力；采用对称 Logistic 和非对称 Gompertz 生长模型评估不同条件下产嗅藻的生长速率，最大生物量等生长属性数据，并结合以上数据与产嗅藻图像资料、生境描述，建立产嗅藻生长与产嗅特征数据库。进一步选取差异较大的代表性产嗅藻，在藻类模拟系统中开展条件模拟实验，包括不同光照 ($10\text{-}500 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、温度 (15-32°C)、营养盐浓度 (参照实际水体设计)、水力停留时间 (2-60 天) 以及关键微量元素浓度，根据不同条件下产嗅藻的生长特征，构建基于统计学回归分析的产嗅藻生长与环境因子之间的关系模型。

MIB 产嗅藻生物信息数据库建立：对分离所得产嗅藻种分别采用引物 QS04F/QS04R 和 27F/1492R 进行产 MIB 功能基因与 16S rRNA 基因扩增测序，并采用 Pacbio 测序技术开展 SMRT 测序获得纯藻基因组序列，同时利用 Miseq 二代测序对 Pacbio 测序结果进行准确校正。对质控后序列进行基因组组装，通过 NR、KEGG 和 COG 等数据库进行功能基因注释，获得完整基因组信息。整合从 NCBI 数据中汇总全球已公开发表的产 MIB 藻种的基因序列数据，开发包含标记基因-功能基因-基因组序列三级数据及产嗅藻生长与产嗅特征的产嗅藻数据库。

宏基因组测序和分析：采用 Powerwater® DNA Isolation Kit 提取水源水库样品总 DNA，基因组 DNA 经超声破碎随机打断后，经末端修复、纯化、PCR 扩增等步骤完成宏基因组文库制备，使用 qPCR 对文库浓度准确定量，采用 Illumina Hiseq 4000 对文库进行双末端测序，测序数据经质控过滤后利用 NR 和 COG 等数据进行功能基因和藻类菌属注释，利用建立的产嗅藻数据库进行产嗅藻筛查。

单细胞融合 PCR 方法（Emulsion, Paired Isolation and Concatenation PCR, epicPCR）：针对产 MIB 功能基因，开发从环境样品中识别典型产嗅藻的 epicPCR 方法。首先利用建立的 MIB 产嗅藻数据库，收集所有已报道和新测序的产 MIB 功能基因序列，分析其保守序列，结合 16S rRNA 基因的保守序列设计产 MIB 功能基因与 16S rRNA 基因的特异性融合 PCR 引物，并使用纯的产嗅藻验证引物的有效性。对于水源地水样首先稀释至藻细胞浓度约 $10^5 \text{ cell mL}^{-1}$ ，加入丙烯酰胺溶液实现单细胞包裹，在油包水的环境中开展样品中大量单细胞的胞内融合 PCR 反应将产 MIB 功能基因与 16S rRNA 基因拼接在一起，通过溶剂清洗将扩增后产物重新收集在水溶液中，并与高通量测序技术结合，从而实现复杂微生物群落中产嗅藻的解析。

MIB 产嗅藻高通量定量 PCR 方法：利用建立的 MIB 产嗅藻数据库，下载产 MIB 功能基因和 16S rRNA 基因序列，利用 DegePrime 设计功能基因和标记基因的 TaqMan 探针及特异性引物，利用纯藻在实验室验证引物与探针的特异性与扩增效率，利用验证后的引物集设计定量芯片，在 ABI OpenArray 平台上建立基于 TaqMan 探针法的 MIB 产嗅藻高通量定量 PCR 方法。

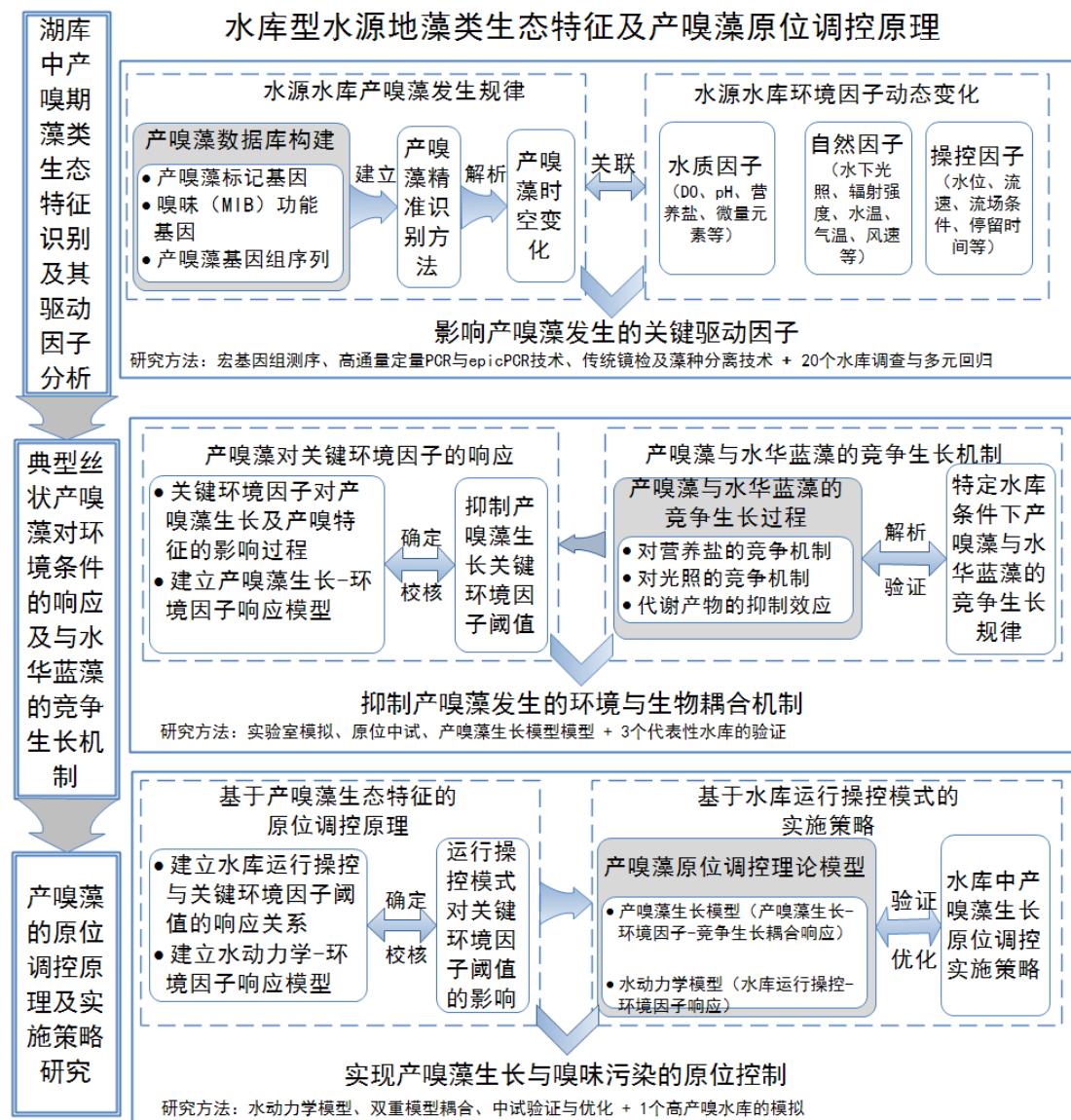
抑制产嗅藻生长的阈值确认：在条件培养及环境条件响应模型基础上，利用 R 语言中的 plm 包、phptest 包及 pvcml 包等构建产嗅藻生长与环境条件的面板门槛模型（panel threshold model），并确定各环境因子抑制其生长的阈值。

中试模拟实验：基于室内模拟结果获得的产嗅藻关键因子，选择一个代表性水库搭建中试模拟系统，模拟不同关键因子条件（如光照、水动力等），验证原位条件下抑制产嗅藻的各关键因子阈值。

水力学模型构建：基于水库嗅味发生情况、水力学特征等选取一个代表性水库；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、水厂取水等出入库流量及水库水位等水文信息；结合水库原位监测获得的水温、溶解氧、浊度等剖面数据，采用 Delft-3D 软件构建水库水力学模型。

水源调控策略研究：采用水力学模型模拟不同的水库运行模式下（包括水库水位、进出库流量、导流墙设置等）水库水体中影响产嗅藻生长的关键环境因子的变化情况，并与抑制产嗅藻生长的阈值对比优选出抑制丝状蓝藻生长与产嗅的最佳运行模式。

4、技术路线



三、项目主要参与者分工，合作研究单位之间的关系与分工

1、项目主要参与者分工

杨敏：课题负责人，负责研究方案制定、技术路线设计指导和项目的组织实施。

苏命：在本项目中负责产嗅藻数据构建及对环境条件的响应机制研究与产嗅藻的原位调控研究。

张琪：在本项目中负责产嗅藻的分离、鉴定和培养工作，并完成 3-5 株产嗅藻的环境条件响应研究。

张海峰：在本项目中负责水体中嗅味物质等污染物的测定与分析工作。

张洪刚：在本项目中负责部分产嗅藻类生长与环境响应研究。

王春苗：在本项目中负责嗅味物质测定与分析工作。

MD SURUZZAMAN：在本项目中负责产嗅藻特征基因数据库构建工作。

陆金平：在本项目中负责产嗅藻原位数据监测、分析及原位模拟实验。

高广斌：在本项目中负责产嗅藻采集和鉴定工作。

曹腾心：在本项目中负责基于单细胞融合 PCR 的产嗅藻识别研究。

2、合作研究单位之间的关系与分工

本项目由依托单位（中国科学院生态环境研究中心）与合作单位（中国科学院水生生物研究所）联合完成。依托单位整体负责项目执行，并完成除合作单位负责的研究任务外的所有任务；合作单位在本项目中主要承担如下研究任务：1) 开展产嗅蓝藻的采样、分离、鉴定和藻种的培养、驯化工作；与 2) 根据产嗅藻分离情况负责部分典型产嗅藻（3-5 株）的条件实验。

四、详细的年度研究计划

2021 年：基于文献等资料选定 20 个水库，嗅味发生期开展水库原位调查与监测，在代表性水库开展长期监测；开展产嗅藻分离、鉴定、产嗅潜力评估，汇集已有产嗅藻种及信息，开发生物信息数据库；针对 MIB 功能基因和 16S rRNA 基因设计 epicPCR 引物，建立基于 epicPCR 的产嗅藻解析方法；邀请澳大利亚专家 Michael Burch 教授和成功大学林财富教授来访进一步细化研究方案。

2022 年：在完善分子生物学方法的基础上，综合应用分子方法和镜检方法开展水库原位调查与监测；开展产嗅藻分离、鉴定、产嗅潜力评估，完成数据库构建工作；选取典型产嗅藻，开展部分实验室条件模拟实验，开展环境因子响应机

制研究：邀请 Michael Burch 教授和林财富教授来访指导产嗅藻环境因子响应机制研究。

2023 年：继续开展水库原位调查与监测；开展实验室条件模拟实验，完成环境因子响应机制研究；开展产嗅藻与水华蓝藻的竞争生长模拟实验；选择某水库开展原位模拟实验，扫描水库地形，汇总相关水文、气象、水质数据，邀请荷兰 delft 大学相关研究人员指导 delft-3D 水力学模型构建。

2024 年：继续开展水库原位调查与监测及产嗅藻与水华蓝藻的竞争生长模拟实验；基于环境因子响应机制与竞争机制研究，评估各环境因子条件阈值，完成产嗅藻原位调控原理研究；构建 delft-3D 水力模型。

2025 年：基于实验室培养与原位模拟实验结果，率定水力学模型参数，模拟不同运行条件，评估各工况下产嗅藻控制效果；验证运行条件可行性，优化调控手段；召开产嗅藻国际和国内研讨会宣传项目成果，撰写基金结题报告。

国家自然科学基金资助项目签批审核表

<p>我接受国家自然科学基金的资助，将按照申请书、项目批准意见和计划书负责实施本项目（批准号：52030002），严格遵守国家自然科学基金委员会关于资助项目管理、项目资金管理等各项规定，切实保证研究工作时间，认真开展研究工作，按时报送有关材料，及时报告重大情况变动，对资助项目发表的论著和取得的研究成果按规定进行标注。</p> <p style="text-align: center;">项目负责人（签章）： 年 月 日</p>		<p>依托单位科研管理部门：</p> <p style="text-align: center;">负责人（签章）： 年 月 日</p> <p>依托单位财务管理部：</p> <p style="text-align: center;">负责人（签章）： 年 月 日</p>															
<p>我单位同意承担上述国家自然科学基金项目，将保证项目负责人及其研究队伍的稳定和研究项目实施所需的条件，严格遵守国家自然科学基金委员会有关资助项目管理、项目资金管理等各项规定，并督促实施。</p> <p style="text-align: center;">依托单位（公章） 年 月 日</p>																	
本栏 目由 基 金 委 填 写	<p>科学处审查意见：</p> <p>建议年度拨款计划（本栏目为自动生成，单位：万元）：</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>年度</th><th>总额</th><th>第一年</th><th>第二年</th><th>第三年</th><th>第四年</th><th>第五年</th><th rowspan="2">负责人（签章）： 年 月 日</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>金额</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>		年度	总额	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	负责人（签章）： 年 月 日	金额						
	年度	总额	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	负责人（签章）： 年 月 日									
金额																	
<p>科学部审查意见：</p> <p style="text-align: right;">负责人（签章）： 年 月 日</p>																	
本栏 目主 要 用 于 重 大 项 目 等	<p>相关局室审核意见：</p> <p style="text-align: right;">负责人（签章）： 年 月 日</p>																
	<p>委领导审批意见：</p> <p style="text-align: right;">委领导（签章）： 年 月 日</p>																