



|        |          |
|--------|----------|
| 项目批准号  | 50938007 |
| 归口管理部门 |          |
| 申请代码   | E0804    |
| 收件日期   |          |

# 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：

项目名称：湖库型水源地蓝藻水华及其有害次生产物暴发机制

资助经费：200.00 万元 执行年限：2010.01-2013.12

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：010-62923475

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：黄韶勇 电话：01062849178/62923597

填表日期：2009年9月16日

国家自然科学基金委员会



## 国家自然科学基金委员会资助项目计划书填报说明

- 一、收到《国家自然科学基金委员会资助项目批准通知》（以下简称《批准通知》）后，请认真阅读本填报说明和自然科学基金相关项目及财务管理办法（查阅 [Http://www.nsf.gov.cn/](http://www.nsf.gov.cn/)），按《批准通知》的要求认真填写《国家自然科学基金委员会资助项目计划书》（以下简称《计划书》）。
- 二、填写《计划书》时要求科学严谨、实事求是、表述清晰、准确。《计划书》经主管科学部审核批准后，将作为项目研究计划执行和检查、验收的依据。
- 三、《计划书》为个性化表格，简表部分自动生成，不同类别的项目按不同要求撰写。请按以下提纲撰写《计划书》：
  - 1、各类获资助项目都必须撰写中、英文摘要及主题词，填报经费预算表。
  - 2、对于基金面上项目，项目组成员和研究内容按申请书执行，一般不得修改。如果《批准通知》中明确要求调整研究内容，须在《计划书》报告正文中对修改的内容作详细说明。没有要求修改的内容时，只需在报告正文中填写“研究内容和研究目标按照申请书执行”即可。
  - 3、重点、重大项目的项目组成员和研究内容根据批准项目的实际情况填报，不能自行降低、更改研究目标，或缩减关键的研究内容。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碰到的问题，拟采用的研究方案和技术路线；
    - （2）项目组主要成员分工，并请说明课题及合作单位之间的关系与分工；
  - 4、国家杰出青年科学基金和海外青年学者合作研究基金的计划书正文按下列提纲撰写：
    - 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) 分年度进度安排
    - 5) 研究队伍的组成情况



简表

|        |           |                        |     |         |                     |            |          |          |
|--------|-----------|------------------------|-----|---------|---------------------|------------|----------|----------|
| 申请者信息  | 姓 名       | 杨敏                     | 性 别 | 男       | 出生年月                | 1964 年 2 月 | 民 族      | 汉族       |
|        | 学 位       | 博士                     |     |         | 职称                  | 研究员        |          |          |
|        | 电 话       | 010-62923475           |     | 电子邮件    | yangmin@rcees.ac.cn |            |          |          |
|        | 传 真       |                        |     | 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      | 10008507 |
|        | 联 系 人     | 黄韶勇                    |     | 电子邮件    | std@rcees.ac.cn     |            |          |          |
|        | 电 话       | 01062849178/62923597   |     | 网站地址    |                     |            |          |          |
| 合作单位信息 | 单 位 名 称   |                        |     |         |                     |            | 代 码      |          |
|        | 中国环境科学研究院 |                        |     |         |                     |            | 10001201 |          |
|        |           |                        |     |         |                     |            |          |          |
| 项目基本信息 | 项 目 名 称   | 湖库型水源地蓝藻水华及其有害次生产物暴发机制 |     |         |                     |            |          |          |
|        | 资 助 类 别   | 重点项目                   |     |         | 亚 类 说 明             |            |          |          |
|        | 附 注 说 明   |                        |     |         |                     |            |          |          |
|        | 申 请 代 码   | E0804:环境工程             |     |         |                     |            |          |          |
|        | 基 地 类 别   |                        |     |         |                     |            |          |          |
|        | 执 行 年 限   | 2010.01-2013.12        |     |         | 研究属性                | 应用基础研究     |          |          |
|        | 资助经费      | 200.00 万元              |     |         |                     |            |          |          |



## 项目摘要

中文摘要(500 字以内)：

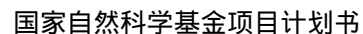
近年来，我国重要湖库水源的蓝藻水华现象日趋严重，由此产生的有害藻类代谢物质（臭味物质、藻毒素等）严重威胁饮用水安全。本项目选择我国北方营养程度有显著差异的湖库型水源地（密云水库和洋河水库）为研究对象，围绕蓝藻水华及有害次生产物的暴发，通过原位观测和微宇宙模拟实验，系统研究蓝藻水华对营养状态和水力条件的响应机制，以及臭味物质和藻毒素产生的物理、化学及生物学机制，综合应用生态水力学、环境化学和分子生物学方法，建立环境因子与藻类种群及其次生产物变化之间的定性与定量模式，构建藻类生态动力学模型，对水库蓝藻水华暴发及有害次生产物的产生行为进行预测，为湖库型水源地管理及水质安全保障提供科学基础。

关键词(不超过 5 个，用分号分开)：蓝藻水华；生态动力学模型；臭味物质；藻毒素

Abstract(limited to 500 words)：

In recent years, cyanobacterial blooming in lakes and reservoirs is becoming more and more frequent, which has caused serious concerns regarding the drinking water safety posed by harmful algal metabolites such as odor and toxin substances. In this project, two source water reservoirs in north China (Miyun Reservoir and Yanghe Reservoir), which are in different nutrition states, were selected as the research targets, and the responding mechanisms of algae to nutrition and hydraulic conditions, as well as the physical, chemical and biological mechanisms for the production of odor-causing compounds and algal toxins were systematically studied by combining the on-site observation approaches with microcosm simulation methods. By comprehensively using the methodologies of applied ecology, hydraulics, environmental chemistry and molecular biology, this project will try to elucidate the impacts of different environmental factors on the algal population dynamics and harmful algal metabolites both qualitatively and quantitatively, and establish algal ecological dynamics models. The purpose of the study is to predict the occurrence of algal blooms and the production behavior of harmful algal metabolites, and provide a scientific basis for lake and reservoir-type water source management.

Keywords(limited to 5 keywords,seperated by;):Algal bloom; Eco-dynamic model; Odor-causing substances; Algal toxins



### 项目组主要成员

为加强在实验室蓝藻暴发微宇宙模拟方向的科研力量，增加一副研究员。其中一博士生李宗来因毕业，相关工作由王菲接替。



## 经费预算表

(金额单位:万元)

## 预算编制说明:

1. 在填报本表之前, 请根据项目资助类别认真阅读相关的资助经费管理办法; 经费预算的编制以申请书中的《经费申请表》为基础, 以《国家自然科学基金项目资助批准通知书》中的资助金额为依据;
2. 编制经费预算时, 不考虑不可预见因素和前期投入;  
购置与试制仪器设备在 5 万元以上 (包括 5 万元) 时, 须在报告正文中逐项说明用途和必要性。

| 科 目                 | 预算经费             | 备 注 ( 计算依据与说明 )                        |
|---------------------|------------------|--|
| <b>一 . 研究经费</b>     | 154.0000         |  |
| 1. 科研业务费            | 64.0000          |  |
| (1) 测试/计算/分析费       | 22.0000          | 用于基因引物订制、藻类组成、成分分析测试费等                 |
| (2) 能源/动力费          | 12.0000          | 实验室水电费, 及采样租船费用, 占预算 6%                |
| (3) 会议费/差旅费         | 28.0000          | 参加会议, 采样所需的船只租赁等, 占预算 14%              |
| (4) 出版物/文献/信息传播事务费  | 2.0000           | 论文发表版面费, 购买数据资料等, 占预算 1%               |
| (5) 其它              | 0.0000           |  |
| 2. 实验材料费            | 52.0000          |  |
| (1) 原材料/试剂/药品购置费    | 52.0000          | 试剂. 标样. 低质耗材等, 占预算 26%                 |
| (2) 其它              | 0.0000           |  |
| 3. 仪器设备费            | 24.0000          | (1): 购置, 大体积采样器等藻类收集等仪器 (2) 试制; 沉积物采样器 |
| 4. 实验室改装费           | 14.0000          | 样品冷库扩容等实验室改造                           |
| 5. 协作费              | 0.0000           |  |
| <b>二 . 国际合作与交流费</b> | 16.0000          |  |
| 1. 项目组成员出国合作交流      | 10.0000          | 国际学术交流的注册费和差旅费                         |
| 2. 境外专家来华合作交流       | 6.0000           | 用于国外专家来华差旅费                            |
| <b>三 . 劳务费</b>      | 20.0000          | 用于研究生. 博士后等劳务费, 占预算 5%                 |
| <b>四 . 管理费</b>      | 10.0000          | 按单位 5% 收取                              |
| <b>合 计</b>          | 200.0000         |  |
| 与本项目相关的其他经费来源       | 国家其他计划资助经费       | 0.0000                                 |
|                     | 其他经费资助 ( 含部门匹配 ) | 0.0000                                 |
|                     | <b>其他经费来源合计</b>  | 0.0000                                 |



## 报告正文

### 1、项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题

#### 1.1 研究目标

本课题在阐明臭味物质和藻毒素产生机制基础上，建立环境因子与藻类种群及其次生产物变化之间的定性与定量模式，构建藻类生态动力学模型，对水库蓝藻水华暴发及有害次生产物的产生进行预测，为湖库型水源地管理及水质安全保障提供科学基础。

#### 1.2 研究内容

选择密云水库和洋河水库，研究蓝藻水华暴发过程，解析典型藻类有害次生产物的产生机制，建立蓝藻水华暴发预测模型，评估有害次生产物产生潜力。

##### 1.2.1 蓝藻水华及有害次生产物的动态过程

通过历史数据的反演和现场全方位监测，针对密云水库和洋河水库开展蓝藻种群结构动态过程研究，揭示蓝藻及有害次生产物的时空动态。通过相关性分析的方法研究蓝藻及有害次生产物的环境响应性，揭示蓝藻及有害次生产物的时空动态与环境条件之间的关系。通过比对研究，分析营养状态和水力条件对藻类群落结构及动态变化的影响机制。这部内容主要有中国科学院生态环境研究中心杨敏组负责。

##### 1.2.2 蓝藻水华暴发过程模拟

分别选择密云水库和洋河水库优势藻种，建立微宇宙系统，研究蓝藻水华暴发过程；模拟研究不同营养状态、温度等条件下，优势藻种生长特征、水体中垂向变化特征及浮力变化特征，揭示关键环境因子对优势藻种演替的影响。这部分内容主要有中国环境科学研究院储昭生组负责

##### 1.2.3 典型藻类有害次生产物的产生机制及关键影响因子解析

采用稳定性同位素示踪技术和分子生物学相结合的方法，研究不同条件（光照强度、水温等物理因子和营养元素及其存在形态等水质条件）下藻类种群动态、相关遗传信息（控制代谢物产生的关键基因）、臭味物质/藻毒素产生量的变化，探索氮等元素的形态及其他环境因子的组合与有害次生产物产量之间的关系。这部分内容主要有中国科学院生态环境研究中心刘慧娟负责。

##### 1.2.4 蓝藻水华暴发预测模型及有害次生产物产生潜力评估

建立湖库3维水环境模型，采用计算域分解和非结构化网格求解，并利用监测的数据进行模型的校正和参数率定。基于上述机理与过程研究，建立优势藻种暴发和关键环境因子之间的关系，开发湖库水华模型。结合有害次生产物产生机制的研究结果，建立评估有害次生产物产生潜力的方法，评估密云及洋河水库的产生潜力。这部分内容主要有中国科学院生态中心李韦峰负责。

#### 1.3 关键科学问题

1) 蓝藻水华对营养状态和水力条件响应机制：确定影响蓝藻水华暴发的关键因子，并对蓝藻水华暴发进行准确预测是一个重要的科学问题。

2) 藻类有害代谢产物的产生机制：揭示藻类的产毒、产臭味机制并进行科学的预测是一个重要的科学问题。

### 2、拟采取的研究方案及可行性分析

#### 2.1 研究方案

本课题技术路线如图1所示，总体分为分析手段，蓝藻及有害次生产物动态过程解析、蓝藻水华暴发实验模拟、模型预测，有害次生产物的生成机制及其产生潜力评估六个部分。

##### 2.1.1 蓝藻及有害次生产物动态过程解析

1) 野外布点：对于常规水文水质指标按照湖库日常布点和监测频率一致，对于自行布点水质指标中温度指标按水深平均1/10为步长进行剖面 and 季节差异决定采样点位和频次。



2) 水库水文监测：测量水库主要入流断面的形状，建立流量 - 水位关系曲线；在入流断面设立水位和流速自动监测仪，连续获取入流流量；主要季节每两周监测一次入流断面的水质，包括水温、氮、磷、悬浮质；收集水库周边气象观测站的降雨、光照、气温和风速数据。

3) 水库水环境监测：根据优化水质监测点的布设，长期有序地监测水库主要环境因子和水质参数在湖库多介质体系（水体、悬浮物、生物、沉积物）中随时间和空间的动态变化，监测指标包括光照、水温、氮、磷、溶解氧、悬浮物、藻类等。

4) 藻类及其他浮游生物分析：采用 PCR-DGGE 和镜检相结合的方法进行藻类群落结构解析，Real time PCR 用于功能基因的解析；针对生物样品测定主要营养成分（N、C、S、P 等）。

5) 次代产物（臭味物质和藻毒素）分析：采用 HS-SPME-SGC-MS（顶空固相微萃取-感官气相色谱-质谱）仪器方法分析臭味物质；对于微囊藻毒素（包括 MC-RR、MC-LR、MC-YR、MC-LF、MC-LW）采用 SPE-LC-MS（固相萃取-液相色谱-质谱）进行分析。

#### 2.1.2 蓝藻水华模型预测

##### 水华预测模型的基本过程

1) 物质输移过程：根据风力、波浪、地形及入流条件等因素计算水库的流场变化及营养盐的迁移。

2) 物质生化反应过程：发生在多介质（水体、悬浮物、沉积物）中的好氧-缺氧-厌氧的有机物降解的生化反应，微生物的硝化-反硝化反应，矿化-反矿化过程等。

3) 蓝藻生长暴发过程：光照、温度、营养物质等环境因子对藻类生长的促进和制约关系。

##### 水华预测模型的主要方法

水华预测是个复杂的系统，针对其中不同的模块，将分别采取不同的方法和技术，具体如下：

1) 水动力和水质模拟：本研究中的三维水动力-水质模型将采用国际领先的 Delft3D 系统，通过已有的历史监测数据进行参数率定。

2) 模型参数估算：过程参数采用贝叶斯推论方法通过大量的监测数据估算出可能存在的最大概率的参数。计量参数：根据实验实测出不同藻类，浮游动物，悬浮物，沉积物的组分，采用化学计量学方法计算可能存在的化学计量关系。

3) 模型与数据耦合：在本课题中将采用集合卡尔曼滤波方法，通过不断采集的最新数据，动态率定水环境模型的参数，提高模型精度和可靠性；同时采用新的数据，更新水华预测模型，包括隶属函数和规律。

#### 2.1.3 蓝藻生长室内模拟

1) 大型湖库富营养化模拟装置模拟：采用微宇宙系统模拟密云和洋河水库蓝藻（鱼腥藻、微囊藻等）水华暴发特征。模拟装置高 4m，可以模拟太阳光照、洋河水库的温度及其分层特征，可以在线监测水体 pH、DO、ORP 等重要指标变化。可以在与洋河水库相近深度条件下模拟水华的发生。

2) 蓝藻浮力变化的定量研究：采用压力毛细管法可以测定蓝藻细胞内伪空胞体积，定量分析蓝藻的浮力变化。压力毛细管测定装置是中国环境科学研究院自行试制成功的装置，仪器检测限达 10nL。

#### 2.1.4. 有害次生产物产生机制

1) 产生有害次生产物关键基因：寻找确认次生产物合成的可能相关基因，灵敏反映氮、磷等元素形态和其他环境因子及其组合与次生产物产生量之间的关系，探明次生产物产生机制。

2) 环境因子：利用分离或采用标准产臭味物质和藻毒素藻株，分别构建无菌及开放体系，改变光照、温度、水动力等环境条件以及氮、磷等营养元素和微量元素的含量与存在形态等水质条件，评价产臭和藻毒素藻类的生长变化与臭味物质和藻毒素产生量的变化关系，同时结合同位素示踪技术和分子生物学技术，找出促进或抑制藻类生长、臭味物质及藻毒素产生的关键限制因子。

#### 2.1.5 蓝藻暴发过程中有害次生产物产生潜力评估





基于野外监测数据和校正的藻类生态动力学模型,预测蓝藻水华暴发时间和规模,根据实测数据和蓝藻水华模型预测密云和洋河水库蓝藻种群暴发的规模,结合有害次生产物的生成机理,建立一种有效的有害次生产物产生潜力评估方法,估算其潜在产生能力。

#### 2.1.6 分析手段

- 1) 常规仪器:主要包括监测常规指标的仪器,例如便携式水质仪、流速分析仪、显微镜等。
- 2) 大型仪器:用于监测臭味物质和藻毒素等微量物质的大型仪器,例如: LC-MS-MS/LC-MS 用于藻毒素分析,SGC-MS(感官气相色谱-质谱)用于臭味物质分析。
- 3) 同位素标记:采用  $^{15}\text{N}$  同位素示踪方法研究不同形态 N 对次生产物的产生量的影响。
- 4) 分子生物学方法: PCR-DGGE 和镜检计数法相结合用于藻类群落结构解析,Realtime PCR 用于功能基因的解析。
- 5) 数学建模:采用 Stella、Aquasim、Delft3D 等专业动力学模型软件解析生化过程参数。
- 6) 微宇宙系统:使用从日本引进的技术制备。

#### 3.2 关键技术

- 1) 藻类暴发的数值模拟技术:构建藻类生态动力学模型,采用数据同化方法,实现监测数据和模型的耦合,从而动态校正模型参数,提高模型预测精度。
- 2) 稳定性同位素标记技术:采用稳定性同位素 ( $\text{N}^{15}$ ) 标记,揭示藻类有害次生产物的产生机制,评估其在密云水库和洋河水库的产生潜力。
- 3) 微宇宙藻类生长模拟技术:通过模拟太阳光照以及昼夜温度变化,测定藻类特定生长参数,阐明蓝藻垂直变化特征,对研究蓝藻水华的暴发过程及关键控制因子起到重要作用。

#### 3.3 可行性分析

从方法学上来说,近年来包括 LC-MS-MS 在内的高灵敏分析仪器发展很快,为藻毒素等微量物质的分析提供了可靠的手段;PCR-DGGE、Realtime PCR 等分子生物学方法在微生物生态及功能基因解析上也在发挥越来越重要的作用;同位素标记方法在特定物质的生物转化研究中已经得到比较广泛的应用;微宇宙系统已经成为湖泊模拟研究的有效手段,可以通过模拟太阳光照,分层采样分析,研究蓝藻在垂直方向上的迁移运动规律,研究水华的暴发过程。总之,本研究所需的各种监测技术、分子生物学方法和同位素标记方法已经比较成熟,可以为本项目研究提供重要的方法学基础。

从藻类生态动力学模型构建上来看,目前水动力和水质模型发展得比较完善,项目组拥有三维湖泊水环境模型,并在太湖和滇池得到应用;在蓝藻水华预测方面,目前成熟的模型比较缺乏,但项目组拥有自主开发的 FuzzHAB 模型,奠定了一定的基础,可以通过本项目的实施得到完善;此外,本项目将重点采用在其他领域广泛应用的卡尔曼滤波方法,实现模型与数据耦合,提高模型预测准确率。

从藻类有害次生产物产生机制上,随着各种分析技术、分子生物学技术等的广泛应用,在藻类产毒基因、微量臭味物质/藻毒素动态过程分析方面取得了快速的进展。有关 MIB/geosmin/藻毒素的生物合成途径以及合成相关功能基因已经基本得到确定。另外,本项目将同位素示踪技术引入到产臭/产毒藻类生长过程及影响因素评价方面,为探明有害次生产物的产生机制提供了可靠的方法手段。

综上所述,本项目在方法学、模型构建和机制解析方面都具备了良好的条件,通过具体的实施可以取得预期的研究成果。

#### 4、本项目的特色与创新之处

- (1) 学科交叉特色:生态水力学、环境化学、分子生物学的紧密结合。
- (2) 系统性特色:从蓝藻水华暴发机制到次生产物产生、预测研究水源水的水质安全保障。
- (3) 研究内容的创新性:通过针对北方营养状态和水力条件不同的两个典型水库比较研究,揭示关键环境因子对蓝藻暴发及其有害次生产物的影响。

#### 5、年度研究计划及预期研究成果

年度计划

本项目计划 4 年完成



第一年：2010 年 1 月-12 月

密云及洋河水库水文、水质指标的监测和样品采集布置，开展室内模拟实验，完成湖库关键物化-生化过程模型的构建，为项目开展做好进一步的准备。

第二年：2011 年 1 月-12 月

继续监测水库的水质指标和沉积物和蓝藻组成的分析，开展室内模拟实验，检测水库内臭味物质和藻毒素的浓度水平，完成物化-生化过程中计量参数和速率参数的测定和估算，完成水动力条件下生态动力模型的构建，召开一次有关蓝藻暴发、有害此生产物产生机制及预测方面的国际专题研讨会，并征求建议。

第三年：2012 年 1 月-12 月

继续监测水库的水质指标和沉积物和蓝藻组成的分析，开展室内模拟实验，解析臭味物质和藻毒素的形成机制，进行生态动力模型的计算，进一步凝炼成果。

第四年：2013 年 1 月-12 月

继续监测水库的水质指标、沉积物和蓝藻组成的分析，藻类生长对各个环境因子敏感性，验证和优化生态动力模型，识别藻类暴发关键环境因子，对暴发的规模和强度进行预测的有效技术途径，召开第二次小型国际专题研讨会。基金研究报告撰写。



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：50938007），严格遵守国家自然科学基金委员会关于资助项目管理、财务等各项规定，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>项目负责人（签章）：<br/>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、财务等各项规定，并督促实施。</p> <p>依托单位（公章）<br/>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>           |   |     |     |     |     |     |
|   | 年度   | 总 额   | 第一年 | 第二年 | 第三年 | 第四年 | 第五年 |
|   | 金额   |   |     |     |     |     |     |
| 本栏目主要用于重大项目等  | <p>科学部审查意见：</p> <p>负责人（签章）：<br/>年 月 日</p>  |   |     |     |     |     |     |
|   | <p>相关局室审核意见：</p> <p>负责人（签章）：<br/>年 月 日</p> |   |     |     |     |     |     |
| <p>委领导审批意见：</p> <p>委领导（签章）：<br/>年 月 日</p>   |  |   |     |     |     |     |     |