



项目批准号	51508549
申请代码	E080401
归口管理部门	
收件日期	

国家自然科学基金 资助项目进展报告

资助类别： 青年科学基金项目

亚类说明：

附注说明：

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

负责人： 苏命 电话： 01062849149

电子邮件： mingsu@rcees.ac.cn

依托单位： 中国科学院生态环境研究中心

联系人： 罗莎 电话： 01062923597/62849178

直接费用： 20（万元） 执行年限： 2016.01-2018.12

填表日期： 2016年12月18日

国家自然科学基金委员会制（2012年）



报告正文

一、重要研究进展

本年度研究内容主要参照项目年度计划，重点调查了丹江口水库与密云水库水质与藻类的季节动态变化；监测了两个水库常规理化参数、水质、藻类种群等及致嗅物等；跟踪监测了密云水库出入库流量及水位的变化情况。除此以外，开展了在密云水库高风险区的产嗅藻原位模拟实验、以及实验室培养模拟实验，已取得初步进展。本年度取得的重点研究进展是构建了密云水库浮颤藻的产嗅潜力模型，水库水位与产嗅藻生物量的关系模型，并根据密云水库地形特征，提出了基于水位调节预防控制密云水库高风险区高风险季节产嗅藻的生长。具体如下：

(1) 密云水库浮颤藻的产嗅潜力模型

密云水库中浮颤藻的产嗅潜力是本项目研究的一个重要研究基础。通过构建浮颤藻生物量与水体致嗅产物之间的分位回归模型，如下式所示：

$$\lambda = 10^9 c / \rho$$

其中 λ 是浮颤藻的产2-MIB 潜力，单位为fg/cell， c 是各个样品的2-MIB 浓度，以ng/L 计，而 ρ 是各样品中浮颤藻的细胞密度，以cells/L计。根据模型结果得出以下基本结论：当浮颤藻的细胞密度超过400 cells/mL时，密云水库水体中出现嗅味问题即致嗅物质2甲基异坎醇（2-MIB）超过其嗅阈值（> 15 ng/L）的风险达到90%以上；当水体中浮颤藻的细胞密度降至约为40 cells/mL时，水体中出现嗅味问题的风险将降至50%左右；若能将水体的浮颤藻细胞密度控制在16 cells/mL时，水体出现嗅味风险将能控制在10%以下。该模型基于一个假设前提是：密云水库水体中2-MIB 主要是由浮颤藻代谢产生的。基于连续4年的调查数据，可以计算出密云水库中浮颤藻的 MIB 产生潜力平均为85 fg/L，与另一个实验室的培养模拟实验中席藻（*Phormidium* sp.）的2-MIB产量（200 fg - 700 fg MIB/cell）要高。另外，浮颤藻属也同时被认为是一种水华型蓝藻，因此在湖库型水源地中预防和控制浮颤藻的生长从而降低源水中的嗅味问题出现的风险对于饮用水厂的意义至关重要。其中，通过改变取水口的取水深度是一个有效的途径来避免采集到问题水源，但该方法在应用实施前需要得到验证评估，因为，改变取水口深度可能会导致别的水质问题，比如在底层水体中可能存在底泥中铁、锰等金属离子的释放，因此需要考察其他更为可行的方法。

(2) 密云水库水位与产嗅藻的风险模型

本年度重点考察了浮颤藻细胞密度与密云水库局部水深之间的关系模型。数据集共使用27个样品，采样点对应的水深范围为1.8 m至 11.0 m，所有样品细胞密度在10 cells/mL到4200 cells/mL之间。根据模型结果，即产嗅藻生物量随水深增加而降低，本研究将水深小于一定值的区域定义为高风险区，对应于三个风险级别（90%，50%，10%），高风险区的三个风险级别分别对应水深小于5.15 m，7.43 m或者 8.70 m。根据密云水库地形，首先考察了不同水位下 50 % 级别高风险区面积的动态变化情况。研究分别考察了当密云水库水位上升至海拔137.0 m，海拔144.0 m，海拔151.0 m以及海拔 158.0 m时水库的高风险区面积变化情况。结果表明，随着水位上升，高风险区的总面积逐渐减少。



对比不同水位时高风险区的组成部分：可以看出当水位为海拔137.0 m时，高风险区主要由北部浅水区以及水库中部分岛屿组成；当水位上升至144.0 m时，大部分岛屿被淹没至水面下7.0 m，而不再成为高风险区；当水位继续上升至海拔151.0 m以及海拔158.0 m时，主要的风险区将移至北部浅水区的浅滩。另外，还考察了当风险级别为10%与90%时不同水位下，密云水库风险区面积的动态变化。根据浮颤藻细胞密度与水深之间的相关性，发现水深可能是影响浮颤藻生长的一个主要环境因子 ($R = 0.72$, $p < 0.05$)。根据相关性结果，进一步表明当水深低于5.15 m时，水体中浮颤藻的密度将会超过400 cells/mL，意味着在该区域水体中发生臭味问题的风险将高达90%；而如果将水深提高至7.43 m时，浮颤藻的细胞密度将会降低，水体发生臭味问题的风险将会对应降低至50%；而当水深高于8.70 m时，对应风险将控制在10%以下。

(3) 基于水位调节预防控制浮颤藻生长潜力策略

为了最大限度的降低密云水库发生臭味问题的风险，根据研究结果提出了采用水位调节的方法来控制产臭浮颤藻的生长。结合密云水库地形特征，首先分析了密云水库不同水位时水库的风险区面积（即水深小于7.43 m，对应臭味风险为10%），结果表明密云水库属于凸型水库，即风险区面积随水位升高而降低；进一步构建了密云水库水位与风险区面积之间的模型，并提出了水位调节的最优化方法。模型结果表明：当密云水库水位在140 m以下时，风险面积占总水面面积超过20%，具有较高的臭味问题出现风险；当水位维持在146.3 m（143.8 m–147.7 m）以上时，风险区面积占比低于5%，而且也达到了水位与风险关系拐点（当水量作为成本考量时），此时密云水库中浮颤藻发生的风险能够得到有效控制。

综合所有结果表明，在浮颤藻生长的高风险季节，在密云水库中调节水位上升可能是控制浮颤藻生长的一条可行方法，从而实现控制水体发生臭味问题的风险，但本方法的前提是需要有足够的水量提供给密云水库。事实上，在过去20年中，由于常年干旱和过度采集，密云水库的水位已经从1994年的海拔154 m下降至2014年的海拔133 m。幸运的是，南水北调中线在2015年开始从南方的丹江口水库输水至北京的密云水库，届时，密云水库的水量应该能够得到一定程度的补充，为本研究的应用提供十分重要的前提。据我们目前掌握的信息，本研究是首次通过调节水库水位来控制蓝藻的生长。本方法与其他方法相比，如曝气 (aeration)，底泥清淤 (sediment removal)，投加杀藻剂 (algacides) 以及生物抑制剂 (biomanipulation, virus, Bacterial infection) 等，水位调节实施起来相对简单，经济，应用性强，且对水体水质和其他水生生物无负面效用。然而，由于水库的功能可能不仅仅是水源地功能，可能其他功能如灌溉、防洪等会在一定程度上影响水库的水量，因此可能会对本方法的实施有一定那个限制作用；此外，本方法对潜水型的湖库效果更加明显。

本年度主要进展小结

总体来说，本年度研究具有以下主要结论：

- 密云水库浮颤藻与水深之间存在负相关关系，其生物量随水深增加明显降低；
- 当密云水库的水位升高至146.3 m及以上时，水体中发生臭味问题的风险显著降低，能得到有效控制；



- 通过用水位调节来控制水库蓝藻暴发的方法可能是一条较好的途径。

本年度发表SCI论文1篇。

二、存在问题及解决方法

(1) 本年度执行中采集密云水库岸边土壤样品研究任务有所滞后

主要是根据最新的研究结果表明，密云水库中的产嗅藻主要为亚表层型的浮颤藻，由于其生物量主要受光限制，与营养盐相关性相对较弱，因此本研究将重点考察内容转移至浮颤藻的光阈值模拟实验，该部分实验本年度已经初步开展了原位模拟与实验室培养模拟实验，已获得初步进展。

(2) 本年度执行的构建基于AQUASIM模型调整为采用General Lake Model (GLM) 模型

此次调整主要是因为GLM模型已经成为湖库水质模型的新方向，尤其为开源模型，在最近一年得到了国际上大量相关研究人员的开发与应用，发展迅速；此外，该模型加上了冬季冰雪覆盖过程，更符合北方水库冬季冰封情况。本年度已经初步构建了基于GLM模型的密云水库水力与水质模型，将在下年度进行模型参数率定与预测。

三、其他需要说明情况

参与该项目的人员中，前期因硕士研究生李霞毕业离开，后期由博士研究生接替李霞工作，在此进行说明。



研究成果目录

项目负责人通过ISIS系统，从文献库中检索研究成果或者按要求格式自行填入。请按照期刊论文、会议论文、学术专著、专利、会议报告、标准、软件著作权、科研奖励、人才培养、成果转化的顺序列出，其它重要研究成果如标本库、科研仪器设备、共享数据库、获得领导人批示的重要报告或建议等，应重点说明研究成果的主要内容、学术贡献及应用前景等。

项目负责人不得将非本人或非参与者所取得的研究成果，以及与受资助项目无关的研究成果列入报告中。发表的研究成果，项目负责人和参与者均应如实注明得到国家自然科学基金项目资助和项目批准号，科学基金作为主要资助渠道或者发挥主要资助作用的，应当将自然科学基金作为第一顺序进行标注。

期刊论文

1. 第一作者论文

(1) **Ming Su^(#)**, Dongmin Jia, Jianwei Yu^(*), Rolf D. Vogt, Jingshi Wang, Wei An, Min Yang^(*), Reducing production of taste and odor by deep-living cyanobacteria in drinking water reservoirs by regulation of water level, Science of the Total Environment, 2016.11.01, 574: 1477~1483, SCI, 第一标注