河湖水华预测方法研究

刘载文[1],吕思颖[1],王小艺[1],崔莉凤[2],黄振芳[3]

(1.北京工商大学信息工程学院,北京 100037;2.北京工商大学化学与环境工程学院,北京 100037;3.北京市水文总站,北京 100038)

摘要:以水华预测研究方法的发展为主线,着重从机理生态建模和智能方法建模两方面对水华预测方法进行总结。通过对国内外常用预测模型的建立思路和应用实例进行分析和描述,比较了机理模型和智能模型的优缺点和使用范围。最后,针对目前水华预测存在的问题进行了分析,指出机理建模和智能方法的有机结合将为准确预测水华提供有效的途径。

关键词:水华;预测;机理模型;智能方法

中图分类号:X52 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-6933(2008)05-0042-06

Forecast methods for algal bloom in rivers and lakes

LIU Zai-wen[1], LÜ Si-ying[1], WANG Xiao-yi[1], CUI Li-feng[2], HUANG Zhen-fang[3]

(1. *College of Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing* 100037, *China*; 2. *College of Chemical and Environmental Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing* 100037, *China*; 3. *Beijing Hydrologic Center, Beijing* 100038, *China*)

Abstract: Algal bloom forecast methods are reviewed. Two modeling methods, the ecological modeling based on the mechanism of algal blooms and the intelligent modeling, are described in detail. On the basis of different worldwide forecast models and examples, the advantages and disadvantages of the methods, as well as their application scopes, are analyzed. Finally, problems in algal bloom forecasting are presented. It is concluded that combining ecological modeling with the intelligent modeling will be an effective way to forecast algal blooms.

Key words: algal bloom; forecast; mechanism modeling; intelligent method

水华作为水体富营养化的一种典型表现,给自然水体和人们生活都带来了恶劣的影响:水体溶解氧下降导致湖泊生态平衡遭到破坏;水华产生的微囊藻毒素还会对人畜健康构成极大危害[1]。据统计,我国目前 66% 以上的湖泊、水库处于富营养化水平,其中重富营养和超富营养的占 22%[2]。因此,如何有效地预测水华发生,协助综合治理水华,也成为当前水华研究的重点之一。

本文根据水华发生的机理,针对其研究现状,分别从机理生态建模和智能方法建模两方面对水华预测研究进行总结:介绍各自的建模思路、优缺点和应用实例,分析水华预测研究的最新发展趋势,并指出未来水华预测的研究方向,为综合保护河湖水资源提供有效工具。

1 水华及其影响因素

水华通常是指河湖所含的氮(N)、磷(P)等营养物质大量增加,致使水体富营养化;在适宜的温度、光照、气候及合适的水文条件下,某些藻类暴发性繁殖、聚集,并在水面形成有色藻类漂浮物的现象[3]。到目前为止,对于水华发生的临界因素和机理还不是十分清楚,但是有研究指出:水华暴发是水生态系统中营养因子和环境因子综合作用的产物[4]。

水华的影响因素主要分为 3 大类,即生物因素、化学因素和物理因素。

a. 生物因素。藻类是水华发生的主体,优势藻

基金项目:北京市自然科学基金项目(4062011);北京市教委科技项目(KM200810011003)

作者简介:刘载文(1954—),男,广东海南人,教授,主要从事智能控制方面的研究工作。E-mail:liuzw@th.btbu.edu.cn

类的大量繁殖会过多消耗水中的氧。其中,蓝藻因大量存在于淡水生态系统中而引起广泛关注;微囊藻(属于蓝藻)导致了一系列严重的水环境问题,受到高度重视并成为研究最多的一种藻类[5]。一方面,微囊藻具有气囊,能很好调节浮力来控制它们在水体中的垂直分布、昼夜迁移及形成水华的能力,在竞争光的方面具有明显优势;另一方面,微囊藻能够贮存有机物,通过休眠越过寒冬,具备了极强的生态竞争优势。因此微囊藻的发生频率与严重程度都呈现迅猛增长的趋势。

b. 化学因素。N、P 在水体生态系统中是生物生长需要的重要元素,藻类的生长同 N、P 的含量及其比例有很大的关系,而 Fe、Mn、Cu、Zn 等微量元素则会有助于藻类生长[6]。同时,藻类通过光合作用消耗水中的 CO_2,引起水体 pH 值上升,水体 pH 值大小与藻类数量之间也存在较好的相关性。目前,我国绝大多数湖泊属于磷限制湖泊[7]。由于外源性磷已得到有效控制,影响水华发生的磷主要来源于内源释放。内源磷释放涉及湖泊物理、化学、生物等多个过程,其影响因子非常复杂,包括:沉积物的氧化还原电位、水生生物状况、pH 值、有机质的含量及组成、铁锰氧化物、水动力状况、温度、光照等外界条件[8]。

c. 物理因素。引发水华的物理因素主要包括温度、光照、水体动力等气象和水文条件,影响河湖水体的分层、混合以及营养盐的可利用性等,从而直接或间接地影响蓝藻种群的细胞密度、种群组成、垂直分布、生命周期等[9]。水温的变化会直接影响水生生物光合作用及其生产力等一系列的过程[10];在一定范围内,藻类数量随光强的增加而增加;如果水体交换不畅且更新周期又长,这就为发生水华提供了有利的条件[11]。

2 水华预测方法

多年研究成果表明,水华预测研究主要从两方面展开:①基于机理的生态建模,该方法包含了许多生态变量和待定参数,通过描述水华发生的机理过程进行预测;②基于智能方法的建模,该方法具有独特的信息处理和解算能力,尤其适用于机理不明确的高维非线性系统,近年来在水华预测中得到运用。

2.1 基于机理的生态建模预测

从 20 世纪 70 年代开展水华研究至今,已建立了大量复杂程度不同的水华机理生态模型:从最初的简单机理模型、基于内源释放的营养盐生态模型到复杂的生态动力学模型。其中,不少模型在认识和治理水华方面发挥了重要作用。

2.1.1 简单的机理模型

简单的回归模型主要是建立在对大量水质和生物数据统计分析的基础上,多用来描述叶绿素 a 与磷和透明度之间的关系,可提供河湖水质的大致变化趋势,对水华进行快速评价。但是,建立这样的模型通常需要大量的数据,而这些数据的精度往往很难保证;加之建模考虑的机理问题过于简单。因此,简单的回归模型常用于建立复杂模型前作初步的半定量估计。

加拿大湖泊专家 Vollenweider[12] 首先提出了 TP 平衡模型,这是典型的单一营养物质负荷模型。该模型假定,湖泊中随时间而变化的 TP 浓度值等于单位容积内输入的磷减去输出的磷及其在湖内沉积的磷,即

$$H\frac{\mathrm{d}P(t)}{\mathrm{d}t} = L_s(t) - V_sP(t) - q_sP(t) \quad (1)$$

式中:H 为湖泊平均水深;$P(t)$为 t 时刻实际水体中磷的质量浓度;$L_s(t)$为 t 时刻单位面积输入湖泊的 TP 负荷;V_s 为沉降速度;q_s 为单位表面积的出流量。

该模型还假定水体混合均匀、稳定、限制性营养物质唯一,所以数学式简单,所需数据少。但是,早期的单一营养盐模型相对简单,只能求解 TP 的平均浓度分布,不能模拟各态磷在水体中的循环,也没有考虑到底层沉淀物与水体的磷交换过程,因此只适合对河湖总体营养状况进行初期评价。

2.1.2 基于内源释放的生态模型

在一定环境条件下,底泥间隙水中营养盐通过扩散、对流、沉积物再悬浮等过程向水体释放营养物,从而导致河湖水体富营养化。研究表明,内源释放与湖泊水体和沉积物之间的物质交换和输送规律有密切联系。目前绝大多数湖泊属于磷限制湖泊,湖泊沉积物与水体之间的磷交换过程包括磷的生物循环、含磷颗粒的沉降与再悬浮、溶解态磷的吸附与解吸附、磷酸盐的沉淀与溶解等[13]。

近年来,湖泊水华研究在营养盐模型方面取得了较大进展:营养盐模型能够模拟底泥和水体界面的磷交换过程,从而有效预测并指导控制内源磷释放。徐清等[14] 对密云水库沉积物内源磷负荷进行了建模:模拟水库表层沉积环境,得到 TP 的释放通量;研究沉积物间隙水的垂向分布特征,并通过沉积物间隙水扩散模拟法,得到水库沉积物 TP 的年释放量。结果表明水库沉积物内源磷负荷对入库总量的贡献量约为 27.9%,这为研究内源性磷对水库水质的影响和富营养化的预测提供了可靠的依据。李一平等[15] 研究了太湖水华各主要因素的空间分布特征和随时间的变化规律,通过模拟水动力条件下太

湖底泥的启动规律,得到了太湖底泥在 3 种不同启动标准(个别动、少量动、普遍动)下的启动流速模型 通过考察上覆水中 TN、TP 浓度的变化,建立了底泥中 TN、TP 释放率与水体流速的定量化生态学模型,取得了较好的效果。龚春生等[16]以南京玄武湖为研究对象,通过静态条件下不同温度底泥释磷室内实验和间隙水扩散模型研究玄武湖底泥释磷通量,结果表明该生态模型为玄武湖治污方案的实施提供了科学依据。

虽然内源释放的营养盐模型研究取得了很大进展,但是该模型的研究对象是单一营养盐,较难体现水体中多种养分的相互影响,也不能准确反映河湖生态系统的动态发展过程,因此还需要考虑更多因素,对内源释放的生态模型进行更深入的研究。

2.1.3 复杂的生态动力学模型

生态动力学模型通过对生态系统进行结构分析,研究生态系统内子系统间相互作用过程,综合考虑系统外部环境驱动变量,建立微分方程组,运用数值求解方法,研究生态系统状态变量变化。它使用一套连续变化的参数和目标函数来描述物种组成和物种性质的时空变化。生态动力学模型是以质量平衡方程为基础的,其三维水质输移转化微分方程为[17]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} + v\frac{\partial C}{\partial y} + w\frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}\left[E_x\frac{\partial C}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[E_y\frac{\partial C}{\partial y}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[E_z\frac{\partial C}{\partial z}\right] + F(C) + S \quad (2)$$

式中:C 为不同生态变量的浓度;u、v、w 分别为直角坐标系 x、y、z 方向的水流速度;E_x、E_y、E_z 分别为 x、y、z 方向的紊动涡黏性系数;$F(C)$为生化反应项;S 是源汇项。

目前,生态动力学模型在国内外河湖水华研究中得到了广泛的运用。Jorgensen[18]为丹麦 Sobygard 湖建立了典型的生态动力学模型,该模型考虑了 6 个状态变量:鱼、浮游动物、浮游植物、碎屑和底泥中的氮以及可溶态氮,能基本模拟观察到水体结构的变化。在中国,特别是针对富营养化较为严重的大型湖泊,如巢湖、滇池、太湖等,建立了大量生态动力学模型。徐福留等[19]建立的巢湖生态模型包括 6 个子模型,即营养物子模型、浮游植物子模型、浮游动物子模型、鱼类子模型、碎屑子模型及沉积物子模型,共有 11 个状态变量,能较好模拟和预测巢湖生态系统的变化情况。郑丙辉等[20]改进的滇池生态动力学模型,使用了不同的温度限制因子,根据不同时期、地点优势藻种的构成比,加权出该时段浮游植物的总生长率,较好地模拟了浮游植物的生长过程和 TN、TP 等水质指标的年内变化情况。胡维平等[21]建立了模拟凤眼莲对太湖生物-物理工程实验区水质影响的水质-生态模型。模型包含 12 个状态变量,较好描述了浮游植物和凤眼莲的生长过程,以及营养盐在食物链中的循环。

历经几十年的研究,基于机理生态建模预测水华在某些特定河湖取得了较大成效;但是水华的发生仍是一个机理不太清楚的非线性问题,需要面对各种不确定性,研究者们还需进行深入的探索。

2.2 基于智能方法的建模预测

智能方法能够将不完全、不可靠和不确定的知识和信息逐步转变为完全、可靠和确定的知识和信息。它能很好模拟非线性过程,尤其适用于机理不明确的高维非线性系统。这就为水华机理分析提供了一种有效途径,能够解决水华预测过程中的高维非线性问题。

2.2.1 人工神经网络的预测模型

人工神经网络(Artifical Neural Network)是一种模拟人脑的神经网络原理、自适应地响应环境信息、并自治演化出运算能力的非程序化计算模式。目前,人工神经网络是水华预测智能建模使用的主要方法之一。

作为基础典型的人工神经网络,BP(Back Propagation)网是一种单向传递的多层前向神经网络,其结构如图 1 所示。BP 算法的基本思想是:学习过程由信号的正向传播和误差反向传播两个过程组成。正向传播时,输入样本从输入层传入,经各隐层逐层处理后,传向输出层。若输出层的实际输出与期望输出不符,则将误差反向传播,逐次调整各层权值。之后,再次正向传播,将输入与输出作比较,周而复始,直至误差满足精度要求为止。

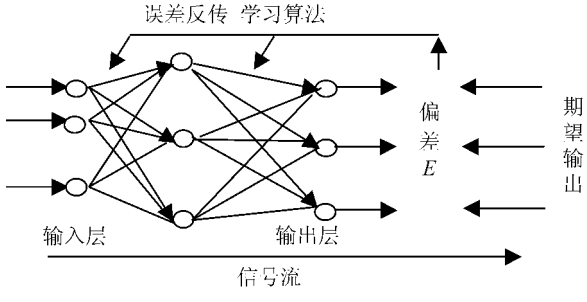

图 1 BP 神经网络结构

近年来,BP 神经网络在建立水华智能预测模型中得到了广泛的运用。任黎等[22]在太湖水华预测中建立了 BP 人工神经网络模型。该 BP 网络模型有 3 层,输入层有 5 个神经元,它们分别对应于湖泊富营养化评价的 5 个参数——叶绿素、透明度、TP、TN、COD;隐含层有 5 个神经元;输出层有 1 个神经

元,即叶绿素 a。利用该模型对太湖 1994～2000 年的富营养化状况进行评价,结果与实际基本相符,具有较大的参考价值。楼文高[23]根据湖库富营养化的评价标准,提出了生成 BP 神经网络训练样本、检验样本和测试样本的新方法,给出了区分湖库富营养化不同程度的分界值,训练后结果表明 新的富营养化评价模型具有更好的客观性、通用性和实用性。裴洪平等[24]利用 BP 网络强大的非线性能力,选择对西湖水质影响较大的两个因子(温度和叶绿素 a)作为输入,建立了简单实用的叶绿素 a 预测网络。实验证明该 BP 网络模型能够预测西湖短期的富营养化变化趋势,为有效及时地控制西湖水质提供科学依据。任宏洋等[25]为三峡水库建立了水华 BP 网络预测模型。模型以溶解态磷、胶态磷、颗粒态磷、TN、COD、流速、水深及温度等 8 个系统参数作为输入变量,以表征水体富营养化程度的富营养化指标作为输出,中间设 1 层隐含层,8 个神经单元,较好地预测了 2005 年三峡库区的富营养化趋势。

虽然 BP 神经网络在水华预测中得到广泛运用,但在使用上也存在某些缺陷。BP 算法使用负梯度下降法调节权值,不可避免地存在局部极小问题;收敛时间过长,从而导致网络泛化能力较差。RBF(Radial Basis Function,径向基函数)网络包含径向基函数神经元,训练简洁且收敛速度快,能够很好地解决 BP 网局部最小问题和泛化能力差问题。刘载文等[26]研究了 RBF 网络基函数中心、宽度和权值的监督学习算法,提出了基于 RBF 网络的水华预测方法,能够有效预测叶绿素的短期变化规律,网络精度高,拟合性能好,从而为水华短期准确预测开拓了新思路。而关于长期预测模型,则需进一步研究与改进。

2.2.2 组合智能方法的预测模型

除了主要使用人工神经网络建立水华预测模型外,部分学者也开始尝试结合多种智能方法,例如:遗传算法、模糊理论、决策树等,改进人工神经网络预测模型,为建立更为准确的智能方法预测模型拓宽了思路。

遗传算法是一种模拟生物自然选择和遗传机制来求解问题的自组织、自适应性人工智能技术,是一种随机搜索的优化方法。遗传算法采用多点并行搜索,且搜索进化过程算法简单,它可以降低人工神经网络陷入局部最优解的可能性,还能增强网络的泛化能力[27]。模糊理论研究的是一种不确定性现象,它采用与样本数据相关的、能表示模型状态的一组模糊规则来描述模型特征,从而可以部分观察到模糊神经网络的内部结构,有利于准确预测。吴利斌等[28]应用模糊神经网络技术,建立了水华模糊神经网络预测评价模型。他们将叶绿素 a、TP、TN、COD、透明度作为模糊神经网络的输入,再分别定义其输出期望值的隶属度函数,按照输出值与期望输出值的接近程度来预测其富营养化程度。利用该模型对全国 16 个有代表性的湖泊进行水质预测评价,取得了一定成效。王晓玲等[29]综合神经网络、遗传算法和模糊理论的特点,提出了基于隶属度—遗传神经网络模型的水质综合预测方法。首先采用遗传算法优化 BP 神经网络的初始权值和阈值,再将优化后的 BP 神经网络用于水质预测评价。同时考虑到水质级别划分和标准确定,运用模糊理论对输出的水质评价结果进行隶属度分析,从而确定水质等级。他们以苏帕河水质监测数据检验该模型,结果表明,该方法能提高运算精度,减小全局误差,能较为合理、准确地综合预测水质变化。

决策树方法主要应用于分类和预测,通过确定对象的各属性的重要程度,提取出必要的属性对研究对象进行分类预测。某些学者初步尝试使用决策树和非线性回归相结合的智能分类方法对水华进行预测,取得了一定进展。Chen 等[30]应用决策树和分段非线性统计回归方法预测了荷兰海岸带水华的叶绿素 a 浓度变化趋势。曾勇等[31]采用决策树和非线性回归相结合的方法对水华进行分类预警。以北京“六海”水华预警为例,他们首先利用决策树分类模型对影响水华暴发的因素进行优选,指出来水量、温度和 TP 浓度是影响“六海”水华暴发的 3 个主要影响因子;再对这些主要影响因子的取值范围划分区间,分别寻找各区间的局部回归模型;从而探讨当限制因素发生变化时,如何预测水华的暴发时机和暴发强度,并划分出水华暴发的预警区间。应用结果表明:该预测模型对于处理限制因素发生变化时的水华预测结果更为准确,便于管理部门针对不同水华警戒水平采取不同的应对措施。

虽然组合智能方法改进了人工神经网络预测模型,取得了一定成效,开阔了研究思路,但是它们仍处于研究的初步阶段;而以特定河湖为背景建立起来的预测模型,也只能在满足一定条件的河湖环境下发挥预测作用。因此,笔者认为可以尝试使用更多的神经网络及其他智能方法进行建模,并将各种数学建模方法与多种智能方法相结合深入研究,从而建立起更为有效的基于智能方法的预测模型。

3 总结与展望

3.1 预测方法总结

20 多年来,水华预测在机理生态建模和智能方法建模两方面都取得了很大进展,在综合治理水华

中发挥了很大作用,但是也存在以下不足之处。

a. 在水华机理建模方面,由于水华的形成过程存在很多不确定因素,如水体的水动力变化、温度和光照等物理特性相当复杂,而大多数机理模型对这些方面处理却很简略,水体中物理、化学、生物三者的相互影响在预测模型中没有很好地体现。同时,模型中大量待定参数也限制了模型的运用范围。

b. 在智能方法建模方面,一方面,没有建立起统一的指标体系,对水华影响因子的主观取舍会给准确预测水华带来不稳定的因素;另一方面,在智能预测方法上,基于 BP 神经网络建立的水华预测模型不可避免地存在局部最小问题,网络的泛化能力较差。组合智能方法建模还处于初步研究阶段,只能用于特定的河湖水华预测,建立水华预测的通用模型尚有困难。

3.2 预测方法展望

在实际预测时,由于建模机制和出发点不同,通常同一问题有不同的预测方法。但是,单一模型很难全面反映变量的变化规律。如果将多种预测模型有机结合,则可以更全面地反映系统的变化规律。因此,针对上述方法不足之处,笔者从机理和智能预测相结合的思路出发,对水华预测做出以下展望。

a. 虽然在水华形成过程中存在许多不确定因素,但是仍可以抓住主要因素,按照从局部到整体的思路对水华机理进行建模。首先分析水华机理的重要特性,例如:N、P 是必要条件和能量积累特性;其次针对这些特性,确定水华机理中的重要元素,例如:氮磷比、温度、光照等,并分别建立以这些因素为主体的局部机理模型;最后再将这些局部模型进行整合,建立水华机理模型。

b. 为了减少人为确定输入变量对预测精度的影响,可以尝试综合使用相关分析方法,例如主成分分析、粗糙集、决策树等方法,研究水质检测数据,分析水华现象;再将数学推理和化学试验的结果相结合,找到较为准确的水华主要影响因子,从而确定水华预测的指标体系。针对 BP 网络自身的不足,可以尝试使用 RBF、GRNN(General Regression Neural Network)等其他神经网络建立水华预测模型,以解决局部最小问题,提高泛化能力;也可以尝试使用各种优化算法,如遗传算法、模糊理论、粒子群算法等,改进神经网络预测模型。另外,还可以结合时间序列、非线性回归等方法进一步改进智能预测模型。

c. 将水华机理引入智能预测模型,优势互补,建立水华的综合预测模型。考虑到在水华暴发之前有相当一段时间的能量积累,水华现象是一个量变到质变、渐变到突变的状态阶跃过程,因此需要将能量积累这一重要信息引入预测模型中,以更有效地预测水华。如何将水华机理与智能预测方法有效地相结合,将是下一步研究探索的重点。

4 结 语

本文分别从机理生态建模和智能方法建模两方面对水华预测进行综述,分析了两种方法的建模思路和优缺点,针对目前研究中存在的主要问题提出见解,并对今后水华预测的研究方向进行展望。随着人类对水华机理认识和智能方法研究的深入,河湖水华预测研究必将取得进一步的发展。水华机理的深入研究及智能方法在水华预测中的应用研究,将会是今后水华预测研究的主要方向,而将机理生态建模和智能预测建模有机结合,则为实现水华精确预测提供了一种新颖、有效的途径。

参考文献:

[1] MORRIS J, GLENN Jr. Harmful algal blooms: an emerging public health problem with possible links to human stress on the environment[J]. Annual Reviews Inc, 1999, 24: 367-390.

[2] 黄漪平. 太湖水环境及其污染控制[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[3] 张开翔. 湖泊人为富营养化[J]. 海洋湖沼通报, 1992(1): 88-98.

[4] 周云龙, 于明. 水华的发生、危害和防治[J]. 生物学通报, 2004, 39(6): 11-16.

[5] DOKULIL M T, TEUBNER K. Cyanobacterial dominance in eutrophic lakes: causes-Consequences-Solutions[J]. Lake Sci, 1998(10): 357-370.

[6] 付春平, 钟成华, 邓春光. 水体富营养化成因分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2005, 2(1): 128-131.

[7] 全国主要湖泊、水库富营养化调查研究课题组. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.

[8] 王庭健, 苏睿, 金相灿, 等. 城市富营养湖泊沉积物中磷负荷及其释放对水质的影响[J]. 环境科学研究, 1994, 7(4): 12-19.

[9] 秦伯强, 胡维平, 高光, 等. 太湖沉积物悬浮的动力机制及内源释放的概念性模式[J]. 科学通报, 2003, 48: 1822-1831.

[10] 刘丽萍. 滇池水华特征及成因分析[J]. 环境科学研究, 1999, 12(5): 36-37.

[11] 李锦秀, 廖文根. 富营养化综合防治调控指标探讨[J]. 水资源保护, 2002 (2): 66-68.

[12] VOLLENWEIDER R A. The scientific basis of lake eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors[R]. Paris: Tech Rep DAS/DSI/68.27. OECD, 1968: 159.

[13] 李文朝, 尹澄清, 陈开宁, 等. 关于湖泊沉积物磷释放及其测定方法的刍议[J]. 湖泊科学, 1999, 11(4): 296-302.

[14] 徐清, 刘晓端, 王辉锋, 等. 密云水库沉积物内源磷负荷

的研究[J].中国科学:D辑,2005,35(S1):281-287.
[15] 李一平,逄勇,向军.太湖水质时空分布特征及内源释放规律研究[J].环境科学学报,2005,25(3):300-306.
[16] 龚春生,姚琪,范成新,等.城市浅水型湖泊底泥释磷的通量估算:以南京玄武湖为例[J].湖泊科学,2006,18(2):179-183.
[17] 李炜.环境水力学进展[M].武汉:武汉水利电力大学出版社,1999:35-36.
[18] JORGENSEN S E. Structural dynamic model[J]. Ecol Model, 1986,31:1-9.
[19] XU Fu-liu, JORGENSEN S E, TAO Shu, et al. Modeling the effects of macrophyte restoration on water quality and ecosystem of Lake Chao[J]. Ecol Model, 1999, 117:239-260.
[20] 郑丙辉,张永泽,梁占彬,等.滇池生态动力学模型的改进[J].环境科学研究,1994,7(4):1-6.
[21] HU Wei-ping, SALO M, JORGENSEN S E, et al. A model for the effects of water hyacinths on water quality in an experiment of physico2biological engineering in Lake Taihu, China[J]. Ecol Model, 1998, 107(2/3):171-188.
[22] 任黎,董增川,李少华,等.人工神经网络模型在太湖富营养化评价中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(2):147-150.
[23] 楼文高.湖库富营养化人工神经网络评价模型[J].水产学报,2001,25(5):474-478.
[24] 裴洪平,罗妮娜.利用BP神经网络方法预测西湖叶绿素a的浓度[J].生态学报,2004,24(2):246-251.
[25] 任宏洋,张代钧.基于结构化设计的湖库富营养化模型研究[J].环境污染与防治,2005,27(5):371-371,381.
[26] 刘载文,崔莉凤,王小艺,等.基于RBF神经网络的河湖水华软测量方法[C]//程代展,吴敏.第26届中国控制会议论文集.北京:北京航空航天大学出版社,2007:108-111.
[27] 恽为民,席裕庚.遗传算法的运行机理[J].控制理论与应用,1996,13(3):297-304.
[28] 吴利斌,尚士友.利用模糊神经网络对湖泊富营养化程度进行评价的研究[J].内蒙古农业大学学报,2004,25(4):67-70.
[29] 王晓玲,李松敏,段文泉,等.基于隶属度—遗传神经网络模型的水质综合评价[J].天津大学学报,2006,39(10):1200-1204.
[30] CHEN Q, MYNETT A E. Predicting phaeocystis globosa bloom in Dutch coastal waters by decision trees and non-linear piecewise regression[J]. Ecol Model, 2004, 176:277-290.
[31] 曾勇,杨志峰,刘静玲,等.城市湖泊水华预警模型研究:以北京"六海"为例[J].水科学进展,2007,18(1):79-85.

(收稿日期:2007-09-27 编辑:徐 娟)

·简讯·

邯郸市主城区污水排放量调查工作完成

针对采用地下水及河水的用户多用少报或只用不报,使城市排水总量难以准确统计的实际情况,2007年邯郸市市政污水处理有限责任公司组织开展了主城区污水排放调查研究工作。对主城区110 km^2范围内666家工业企业,920个规模住宅区(39.4万户、120万人),145所学校,170余家规模饭店、宾馆及洗浴,63个村庄,5条河流,230个排水口,采用现场调查、实测实量、水样采集、化验分析、搜集资料等方法进行调查。调查历经1年时间。

经调查实测,邯郸市主城区污水排放量为41.75万t/a。这一数据与采用人均用水定额和企业产值用水定额的理论计算值误差在5%以下。根据市自来水公司、市节水办、市水利局提供的数据汇总,邯郸市主城区供水量才28万t/d。这与实际污水排放量差距较大,这些都造成污水处理企业一方面不能足额征收污水处理费,另一方面又必须处理大量污水,加重了企业运行成本。

2002年邯郸市主城区污水排放量调查实测量为42万t/d。从总量上看,2007年的日均污水排放量与2002年基本持平。但因实现污水处理后资源化利用,邯郸钢铁集团的工业废水排放量由2002年的7万t/d,减少到2007年的3万t/d,故邯郸市主城区污水排放量,5年来共增加了4万t/d。

邯郸市主城区目前共建成2座污水处理厂,实际处理能力17万t/d,污水处理率为68.5%。利用BOT模式在建的10万t/d东污水扩建厂,2008年底建成运行后,可使COD减排量提高到70%以上。通过本次调研,进一步掌握了主城区点污染源数量、空间分布、污水排放量、各种污染物质含量,掌握了污水排放变化规律;摸清了主城区的雨、污水管网的布设情况和排水能力,为下一步污水处理厂适时新建、扩建、改建,特别是西污水处理厂扩建,为污水截流、雨污水分流改造以及污水管网建设,为加大污水排放量监管力度,为提高污水处理率、提高COD减排提供了科学依据。

(张志军 供稿)