

中国农业大学 985/211 建设项目

池塘淡水水产养殖 水质评价及预警方法

王瑞梅 傅泽田 著

chí táng dàn shuǐ
shuǐ chǎn yǎng zhī
shuǐ zhì píng jià jī
yù jǐng fāng fǎ



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

池塘淡水水产养殖水质 评价及预警方法

王瑞梅 傅泽田 著

中国农业大学出版社

• 北京 •

图书在版编目(CIP)数据

池塘淡水水产养殖水质评价及预警方法/王瑞梅,傅泽田著. —北京:中国农业大学出版社,2010.11

ISBN 978-7-5655-0131-9

I. ①池… II. ①王…②傅… III. ①池塘养殖-水质控制 IV. ①S959

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 214838 号

书 名 池塘淡水水产养殖水质评价及预警方法

作 者 王瑞梅 傅泽田 著

策划编辑 赵 中

责任编辑 邝华穆

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤 陈 莹

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail cbsszs @ cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 10.25印张 187千字

定 价 38.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 问题的缘起	1
1.2 研究对象的界定.....	2
1.3 研究思路与内容	3
1.4 研究的创新	6
第 2 章 池塘淡水养殖水质评价及预警相关研究综述	7
2.1 关于水质评价方法的研究	7
2.2 关于水质预测方面的研究.....	12
2.3 关于预警方面的研究.....	15
2.4 关于水质信息系统方面的研究.....	16
2.5 已有研究取得的成果和不足.....	20
第 3 章 池塘淡水水产养殖水质系统识别	21
3.1 池塘淡水水产养殖水质的含义.....	22
3.2 池塘淡水水产养殖水质单因子分析.....	22
3.3 池塘淡水水产养殖水质因子综合分析.....	35
3.4 池塘淡水养殖水质因子数据获取.....	37
3.5 本章小结.....	39
第 4 章 池塘淡水水产养殖水质评价模型	40
4.1 池塘淡水养殖水质评价指标体系的建立.....	40
4.2 池塘淡水养殖水质评价标准的确定.....	46
4.3 池塘淡水养殖水质评价模型建立.....	51
4.4 池塘淡水养殖水质评价实证分析.....	57
4.5 本章小结.....	58
第 5 章 池塘淡水水产养殖水质预测模型	60
5.1 池塘淡水养殖水质的系统动力学预测模型.....	61
5.2 基于神经网络的溶解氧模糊系统预测模型.....	66

5.3	其他因子预测模型的建立与验证·····	86
5.4	本章小结·····	88
第6章	池塘淡水养殖水质预警模型 ·····	89
6.1	池塘淡水养殖水质预警概述·····	90
6.2	池塘淡水养殖水质预警模型建立·····	92
6.3	池塘淡水养殖水质预警系统功能与活动内容·····	99
6.4	池塘淡水养殖水质预警对策·····	100
6.5	预警管理系统的运行过程·····	103
6.6	本章小结·····	104
第7章	池塘淡水水产养殖水质管理智能决策支持系统的设计与实现 ·····	106
7.1	系统原型设计·····	106
7.2	系统实现·····	116
7.3	结论·····	120
第8章	研究结论与展望 ·····	122
8.1	研究的主要结论·····	122
8.2	研究展望·····	123
参考文献	·····	125
附录1	池塘淡水水产养殖水质专家调查问卷的设计依据及问卷内容 ·····	136
附录2	专家对溶解氧评价数据分布 ·····	148
附录3	专家对浮游植物的评价数据分布 ·····	150
附录4	专家对总氮评价数据分布 ·····	152
附录5	渔业水质标准 ·····	154
附录6	系统动力学模型模拟浮游植物生物量程序 ·····	156

第1章 绪 论

内容提要:阐述了研究的选题依据和研究对象,并探讨了研究的思路与内容,在此基础上,提出了研究的目标、思路、内容及创新点。

1.1 问题的缘起

我国是水产大国,养殖产量已经占世界总产量的70%以上,是世界上唯一养殖产量超过捕捞产量的国家,而且水产养殖业发展迅猛。产业规模日益扩大,再加上劳动成本低,在国际市场上具有明显的价格优势,发展潜力巨大,已逐渐成为农村经济发展新的增长点和亮点,其中池塘养殖在整个水产养殖中占有重要地位。据统计资料表明,我国淡水养殖总产量从1990年的445.4万t增加到2008年的2 020.2万t,占水产养殖总产量的58.95%,增长了3倍多。

但与水库和湖泊养殖模式比,池塘养殖模式耗水量大,而目前我国淡水资源不足(何志辉,2000;张正光,1995;王武,2000;韩青海,张耀辉,1998)。并且,城市中每天有大量的生活污水排出,生活污水中含有丰富的有机物质和营养盐类,是鱼池肥料的重要来源之一。利用城郊的生活污水养鱼,可以节约肥料、饲料和劳力,并能通过鱼类的生命活动,净化污水,改善环境卫生。基于这样一种现实,天津市形成了一种特殊养殖模式,即污水养鱼。

可以说,污水养殖模式在节约水资源,提高水资源的利用效率方面产生了积极的效果。但池塘模式本身存在着水域面积小,养殖密度较大,水体流动性较差,自净能力弱,水质恶化的几率高的问题,再加上污水的注入,进一步加快了水质恶化的速度。池塘淡水养殖水质恶劣,不仅直接抑制鱼类的繁殖和生长发育,而且因影响鱼类饵料生物如浮游动、植物的繁殖,减少了鱼类的食物来源,从而间接降低鱼的成活率和鱼产量。

池塘淡水养殖水质的好坏对鱼病的发生也有很大的影响(罗其友,1999)。目

前虽然没有发现人鱼共患病,但是差的水质,鱼可能会成为中间宿主,将寄生虫传给人类,从而造成很大的危害。另一方面,近几年来,鱼类集约化养殖程度越来越高,由于放养密度的加大,残饵、排泄物、生物体、渔用营养物质、残留药物积累增多,淡水养殖池塘严重老化和富营养化,养殖水域生态失衡,水质情况更加恶化(郭鸿鹏,罗良国,任爱胜,等,2000)。

为使池塘淡水养殖水质处于适合鱼类生存的适度状态,以充分发挥池塘养殖模式的优势,对池塘淡水养殖水质状况进行包括实时评价、预测和预警在内的池塘淡水养殖水质管理是池塘养殖模式亟待解决的理论和现实问题。为此,许多公司针对不同水质设计和生产了水质监测仪,这些仪器目前只能对水体进行单因子的测试,仅给出简单的数据,无法进一步给出深层次信息,以支持养殖者进行决策,远远满足不了水质管理的实际需要,而且对水质的预测、预警理论研究少且不够深入。随着信息技术和人工智能的发展,将其引入水质管理,对水质监测的数据直接进行深层次处理与挖掘,并给出相应的对策是一种发展趋势。

基于理论研究和实践探索的必要性和迫切性,提出了池塘淡水养殖水质管理智能决策支持系统的研究课题。该系统的研究与开发还有利于解决我国水产业技术人员少,信息流通慢等问题。本课题得到了“天津市网络化淡水养殖专家系统开发与示范”项目(0108020314)和国家“863”计划重点资助项目(863-306-ZD-05-02-2)的支持。

1.2 研究对象的界定

在本研究中,水质是特指天津市精武集团淡水养殖场污水养殖露天池塘的水质。本书的研究是在大量收集专家经验和实地监测数据的基础上,依据相关理论,分析了池塘淡水养殖水质评价、预测、预警的必要性、可行性及相关的研究方法,构建了淡水养殖池塘淡水养殖水质评价、预测、预警的总体思路与实际流程。

淡水养殖池塘淡水养殖水质知识涉及面广,它包括生物学、物理学、化学、水利学、水文学、气象学等(白乃彬,杜敏,等,1994;Terri C, Walker, Richard K M),池塘淡水养殖水质因子具有易变性、模糊性、随机性、经验性、不完全性等特征。而在池塘淡水养殖水质方面的相关研究较少,本书的研究因基础数据的量不能满足研究的需要,所以在天津市精武集团淡水养殖场污水养殖露天池塘进行实际的水质监测工作,为更深入地研究池塘淡水养殖水质奠定基础。

1.3 研究思路与内容

1.3.1 研究目标

本书从影响池塘淡水养殖水质的主要因子出发,对池塘淡水养殖水质进行分析、评价、预测和预警,并建立相应评价指标体系、评价标准和预警标准。

进行池塘淡水养殖水质管理智能决策支持系统的设计和实现,通过调查研究和专家访谈获取专家知识,完成知识库的建立;通过建立的各种模型来完成模型库的建立,对池塘淡水养殖水质做出评价,供水产养殖技术部门应用,达到对池塘淡水养殖水质的评价、预测和预警的目的。

1.3.2 研究的技术路线

水质评价和预警的主要目的是为水质管理服务的,由水质评价和预测数据可以知道目前水质的恶劣程度和发展趋势,对水质的管理提供可靠的保证。因此,本论文首先从池塘淡水养殖水质含义、水质单因子分析及综合因子分析三个方面进行了池塘淡水养殖水质的系统识别;接着通过池塘淡水养殖水质评价指标体系的建立和评价方法的确定,完成了池塘淡水养殖水质的评价模型;进而通过对池塘淡水养殖水质预测的内涵、预测方法、预测算法及预测模型的研究建立了水质预测模型,并对该模型进行了验证。通过对水质预警理论、水质预警的特性、水质预警的方法和标准的系统深入研究,建立了水质预警模型。基于上述水质管理子系统的形成理论和方法的研究,建立相应的数据库、模型库、方法库和知识库等,遵循软件工程设计思想,运用 ASP、VC++ 等开发工具,完成了系统的设计与实现。根据以上研究,本研究的技术路线如图 1-1 所示。

1.3.3 本书结构安排

根据以上分析,本论文题目确定为“池塘淡水水产养殖水质评价及预警方法”,论文的主要内容与结构安排如下:

第一章:绪论。将从淡水池塘养殖的地位和作用、我国水资源危机、池塘淡水养殖水质恶化的现实、人们对鱼类产品的要求以及池塘养殖的实际情况及水质管理存在的问题出发,提出池塘淡水水产养殖水质评价与预警的重要性,指出建立池塘淡水养殖水质评价及预警决策支持系统的必要性,阐明本研究的选题依据;并提出研究目标、技术路线和主要内容、论文的特色与创新点。

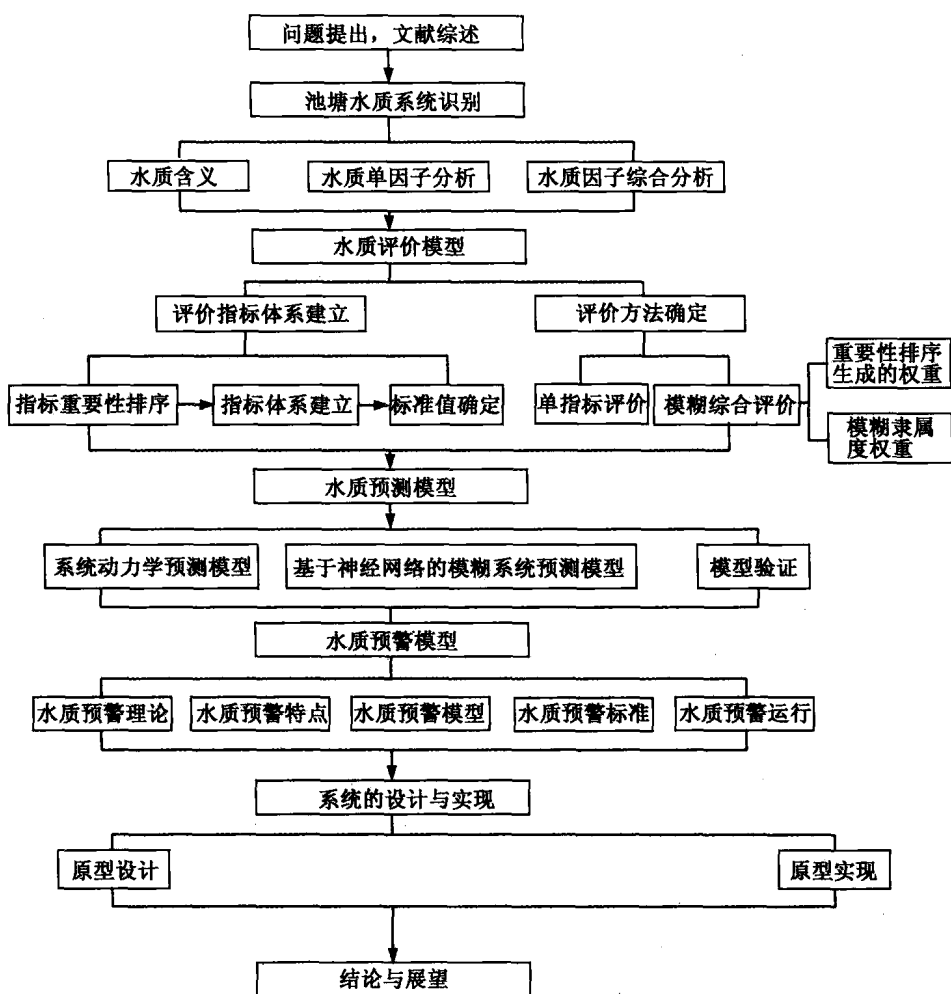


图 1-1 研究的技术路线

第二章:池塘淡水养殖水质评价及预警相关研究综述。本章将通过水质评价、水质预测、水质预警及水质信息系统等方面的研究进行综述,对已有的研究进行了评价和总结,并在此基础上展开研究。

第三章:池塘淡水水产养殖水质系统识别。本章将通过实际监测淡水养殖池塘淡水养殖水质的各个组成因子的值和大量的调查研究,根据池塘淡水养殖水质因子间的关系及特点,采用系统动力学的方法分析因子间相互作用、相互影响的关系;提出了每个因子日常调节与控制方法。并阐述实验的目的、设计、方法、实际监

测养殖池塘淡水养殖水质的各个组成因子,并进行大量的调查研究,为后面几章的研究奠定了基础。

第四章:池塘淡水水产养殖水质评价模型。采用德尔斐法对天津市精武集团淡水养殖场的水质因子进行排序,提取对水质影响较大的重要因子,用专家问卷调查法确定各因子标准值,根据鱼类对每个因子的耐受程度将水质分为五级,根据德尔斐方法得出的指标重要性确定指标的主观权重,再通过因子的实测浓度矩阵与标准浓度的关系确定客观权重,两权重的向量组合得出因子的综合权重,这种确定权重的方法,避免了主观因素太多的情况,具有一定的科学性和实用性,根据水质具有模糊性这一特点,建立了池塘淡水养殖水质模糊综合评价模型,对池塘淡水养殖水质进行评价。

第五章:池塘淡水水产养殖水质预测模型。根据水质因子的研究状况,采用不同的模型对池塘淡水养殖水质进行预测。用系统动力学方法预测浮游植物生物量;采用模糊系统和神经网络相结合的方法,将模糊系统和神经网络引入露天池塘淡水养殖水质预测,建立基于神经网络的模糊系统,通过模糊聚类的方法,确定模糊规则数,利用神经网络对数据的处理能力强及运算精度高的优点,对每一条规则进行神经网络预测的建模、编程、调试和验证工作,最后得出适合于池塘淡水养殖水质预测的基于神经网络的模糊系统,预测溶解氧、氨态氮、硝态氮和亚硝态氮浓度,并通过实例对模型进行验证。

第六章:池塘淡水养殖水质预警模型。从预警的概念、预警的含义及预警与预测的不同出发,分析淡水养殖池塘淡水养殖水质预警的必要性及重要性,分析淡水养殖池塘淡水养殖水质的特点,主要包括警情的突发性、警兆的滞后性、警源的复杂性、预警的集中性、预警的动态性及其深刻性。在这些预警特性的基础上,提出淡水养殖池塘淡水养殖水质预警的功能及预警指标的范围,用三种模型对池塘淡水养殖水质进行预警,即状态预警、趋势预警和鱼类生存指数预警,这三种预警模型有机地结合,确定好监测对象、预警活动计划和对策重点,对池塘淡水养殖水质进行预警活动。

第七章:池塘淡水水产养殖水质管理智能决策支持系统的设计与实现。本章将根据淡水养殖池塘淡水养殖水质的实情,研究论述淡水养殖池塘淡水养殖水质管理智能决策支持系统的体系结构、总体框架结构和主要功能,并完成系统的设计与实现。

第八章:研究结论与展望。对全书进行了总结,并讨论了池塘淡水养殖水质评价及预警和其智能决策支持系统今后的研究方向。

1.4 研究的创新

(1)在池塘淡水养殖水质等级的划分上,提出根据鱼类对各环境因子的耐受程度,按照鱼类对水质因子适应的正态或偏态性,划分相应的水质等级,完成评价指标体系和评价标准的建立,建立池塘淡水养殖水质评价模型,将模糊评价方法引入水质评价,采用混合模糊综合评价法在池塘淡水养殖水质的评价,进一步完善了池塘淡水养殖水质研究的理论,也为环境评价理论发展补充了新的内容。

(2)在指标权重的确定上,采用综合权重法,即用模糊排序法生成重要性程度系数,将重要性程度系数进行归一化处理,得到主观权重,这种主观权重的确定方法减少了专家直接赋予权重的主观性;用实测浓度相对于标准浓度的隶属度来确定客观权重,将二者综合在一起,得到指标的权重值,这种确定权重的方法应用在水质评价上,为评价指标权值理论和方法增加了新内容。

(3)在池塘淡水养殖水质因子的预测方面,将系统动力学方法引入池塘淡水养殖水质因子分析,并建立系统动力学模型,对浮游植物生物量进行预测;将模糊系统与神经网络引入池塘淡水养殖水质因子预测,将二者相结合,建立基于神经网络的模糊系统预测模型,这些方法的应用和模型的建立,为水质的预测提供了理论基础和实践经验。

(4)根据池塘淡水养殖水质预警的特点,建立池塘淡水养殖水质状态预警模型、趋势预警模型及鱼类生存指数预警模型,并建立了池塘预警级别标准;补充了预警理论在池塘淡水养殖水质上的应用,也为池塘淡水养殖水质研究开辟了新的方向。

第2章 池塘淡水养殖水质评价 及预警相关研究综述

内容提要:对关于水质评价方法的研究进行了综述,主要包括水质评价、预测、预警及智能决策支持系统方面的国内外研究状况,总结了已有研究取得的成果和不足,在此基础上,展开研究工作。

进入 20 世纪以来,各国学者对于水质开展了广泛而深入的研究,发表了大量的研究报告和学术论文。这些研究最初主要以江河、湖泊和水库为研究对象,对池塘淡水养殖水质的研究近年来才得到重视。本论文对国内外专家学者关于水质的研究状况从水质评价方法、预测方法、预警方法、水质信息系统等方面进行了综述,并归纳总结了已有研究的成果和不足。

2.1 关于水质评价方法的研究

水质评价主要是建立相应的评价指标体系和确立适宜的评价方法,对水体环境的现状给出一个定性化的概念。到目前为止,国内外对水质评价的研究可以说是层出不穷,研究方法也多种多样,每一种方法都有其适用范围和优点。

单指数法以 C_i/S_i 为基本单元,经过算术平均、加权平均、连乘及指数等数学运算得到一个综合指数来评价水质。这种方法在环境质量评价的初期曾应用较多,主要有美国的内梅罗法(谷朝君,潘颖,2002)、豪顿指数法(胡永宏,贺思辉,2000)、前苏联的英哈伯尔水质指数法(郭劲松,王红,龙腾锐,1999)、中国的广州水质指数法(刘智森,2001)、黄浦江污染指数法。在这些模式中,由于求平均、求权重值、求单指数的方式不同,又发展了许多亚方法。单指数法的缺点是:均权叠加后水质指数忽略少数超标污染项目水质影响更大的特征;加权叠加需要确定合适的权重,而确定合适的权重在污染项对环境贡献大小及作用机理不十分清楚的情况下是十分困难的;内梅罗指数的计算实质上是由水中污染物的相对污染值中的最大值决定的,使评价的污染状况偏重。而均方差模式既通过算术均值又考虑了每

分项水质的影响,对分指数中的较大值给予较大的权重,值得推荐。单指数法模式计算简单,方便易行,在污染物浓度不大或对水质评价要求不高的情况下可以使用。

分级评分法用实测值(或经转换的值)与划分出的水质等级进行比较打分,再综合各项目得分值进行水质评价。国内外水质评分法有 Prati 评分法,它是依据主要参数,将地表水水质分级,将每种水质参数的浓度实测值转化为新的无量纲值,将各参数值加和平均,得综合分级指数;Ross 评分法,是将参数的评价值相加,除以权重值和得到的分数;WPI 指数评价法(徐建平,2001),是一种用单项质量指数与单项质量变异系数相结合的方法;这是几种具有代表性的分级评分法,这类模式克服了单指数法用 C_i/S_i 为基本单元划分水质的局限性,较单指数法进了一步。但这一方法由于数学模式上的不连续性,导致了在尚未评价污染等级的条件下,对三、四类水质评价困难,甚至偏差较大。而 WPI 指数法则将污染指数法与分级评分法进行有机结合,引进质量变异系数,更能反映实际变动的情况。国外研究分级评分法很多都将权重结合到评分中去考虑,如 Ross 法,比均权法又有其优越性。但总的来讲,在划分水质级别时,根据同一分级标准值来进行划分不符合水质分级的客观模糊性,故这类方法只适合于粗略的水质评价,在进行大范围的统一水质评价时可考虑。

函数评价法的代表模式为污染程度函数法和水质保证率法(郑文瑞,王新代,纪昆,等,2003)。这类模式将水质函数与水质评价结合起来,理论上是进了一步。污染程度函数法可反映各污染因素的综合影响,但将严重污染参数对环境的影响过分夸大。水质保证率法计算复杂,研究还不够成熟和深入,推广应用尚有一定距离。虽然这些模式方法应用较少,但适用于较深入的水质评价。

概率统计法是目前能表征各污染强度的一种较好的方法(黄辉金,2001)。由于水域水体污染强度受水文流量系列及污染物排放因素的影响较大,故水质监测结果具有随机性,因此,此法有充分的理论基础。因此,需要长期的监测才能对水质进行评价,并且若能对合理加权进行深入研究,应是水质评价较先进的方法。但是概率统计法存在计算量大、对旧数据与新数据同等对待和只重视过去数据的拟合、不注重外推性,同时由于涉及的影响因素多,对水质多因素综合评价难度较大(李如忠,2006)。

综合指数法是目前国内研究较多水质评价方法,主要包括模糊数学法、灰色聚类法、信息论法等几类。这类方法推导严谨,计算较复杂,评价结果更接近实际。由于水质污染程度与水质分级相互联系并存在模糊性,而水质变化是连续的,模糊数学法在理论上可行,弥补了本文前述模式的不足。模糊数学法的关键是构造隶

属函数或矩阵以及权重矩阵。其典型代表有:模糊综合评判法(潘峰,付强,梁川,2002;张龙江,2001)、Hamming 贴近度法(李振光,李光浩,卢炳野,1995;张松滨,李万海,王凤翔,1996)、模糊概率法等。模糊综合评判法是根据各污染的超标情况进行加权,能使评价的理论和方法建立在比较严谨的数学模型基础上,通过模糊级别判断及综合评价值的计算,可以直观地判断水质的优劣,并从总体上对水域所属质量类别做出判断(白玉娟,殷国栋,2010)。但污染物毒性 with 浓度不成简单的比例关系,这种加权方法不一定符合实际;隶属函数的选择也仍在探讨中。就目前的研究水平而言,此法发展得较成熟,评价结果切合实际,不失为较佳选择。Hamming 贴近度法用 Hamming 距离的概念描述两个模糊子集之间的靠近程度,也常用于水质评价中。

灰色理论应用于水质评价是一个较新的发展方向(翟国静,1996)。由于水环境质量所收集的信息是不完全的或不确切的,因此可将水环境系统视为灰色系统进行水质评价(兰文辉,安海燕,2002)。灰色评价法也是“加权平均型”的综合评价法,信息利用率和精度都较高。在灰色聚类法基础上,又有人提出了灰色关联度法和灰色模式识别模型。冯玉国运用广义加权距离建立了灰色理论模型,使灰色理论的应用日益进步。而黄璋等提出的距离聚类法和模糊聚类法有许多新意但还不成熟,探讨还有待深入;信息论法试图将信息量的计算与交流等引入水质评价领域,但在目前其模式的物理意义不太明确。灰色聚类是以灰数的白化权函数生成为基础,将水域观测指标或对象聚集成若干个可定义类别的方法。对水质进行分级评价时,按灰色系统理论用灰色参数描述该系统,把水质等级的分级指标值用灰色参数(灰数)来表示,进而进行水质分类(白玉娟,殷国栋,2010)。灰色关联分析法是灰色系统理论的基本方法,采用关联度来量化研究系统内各因素的相互关系、相互影响与相互作用,在水域系统中多用于确定某一参考序列与多个比较序列之间的关系。在进行具体水体环境质量的分级评价时,选择评价对象的评价因子实测值作为参考序列,水体质量的分级标准为比较序列,这样可求出多个关联度来,与比较序列关联度最大的参考序列多对应的级别,即为待评水体的质量等级。

基于可拓集合的水质评价:物元可拓法于 20 世纪 80 年代由我国学者蔡文教授创立,它是将物元分析与可拓集合相结合,应用于新产品构思与设计、优化决策、控制、识别与评价等领域,在地下水水质评价中的应用属于拓展性的应用(蔡文,1994,1998,1999)。由于水质评价的多目标决策往往涉及对系统进行分析,目的系统和条件系统之间常常出现矛盾,因此,物元可拓法的出现为水质评价带来了新的研究方向。该方法认为水域环境是一个较为复杂的系统,单项指标间的评价结果容易出现矛盾和不相容性。物元可拓法的原理是以物元为基元建立物元模型,以

物元可拓为依据,应用物元变换化矛盾问题为相容问题(Zhao Runhua,1997)。与其他评价方法相比,物元可拓法是直接面向问题而不是面向数据或空间形式的数学处理方法,它利用可拓集合通过建立关联函数对事物的量变和质变过程进行定量描述(李祚泳,汪嘉杨,熊建秋,等,2007)。有的学者利用物元可拓的水质评价方法对唐山市东郊污水处理厂的再生水进行了评价,结果表明该方法具有分辨率高、结论可靠等优点。

基于集对分析的水质评价:集对分析(SPA)是我国学者赵克勤提出的一种针对确定与不确定问题进行同异反定量分析的新理论,其解决问题的思路是“客观承认,系统描述,定量刻画,具体分析”,把确定性与不确定性作为一个系统来处理,它在评价、管理、预测、决策和规划等诸多领域得到广泛应用(Zhang Lifeng, Zhao Keqin,1998;赵克勤,2000)。水质评价是一个具有确定性的评价指标和评价标准与具有不确定性的评价因子及其含量变化相结合的分析过程,是一个多因素多水平耦合作用的复杂不确定系统,不确定性理论集对分析能够将确定性与不确定性作为一个系统进行综合考虑,并予以辩证分析和数学处理,能较好地解决包括小样本、非线性、高维数以及包容随机、模糊、灰色等常见不确定的具体问题,能有效地避免“过拟和”和主观随意性。针对水质评价中不同指标权重的确定问题及评价指标与水质标准等级之间具有复杂的非线性关系,学者们(孟宪萌,胡和平,2009)又有针对性地提出了熵权集对分析法。通过在实践中应用发现,熵权集对分析法具有使用方便,计算简单,信息利用率高,结果直观、合理、可靠等优点,是一种高效的水质评价方法。另外,相关文献(李嘉竹,刘贤赵,2009)表明集对分析在评价海水水质的富营养化程度也是切实可行的。与传统评价方法相比,该方法概念清晰,计算简便、快捷、精度高,具有较高的分辨率和较大的实用性;同时重视信息处理中的相对性、模糊性,评价原理和评价结果客观、准确可靠,避免了模糊综合评价和灰色聚类等方法权重赋值和隶属函数确定中的人为因素影响,减少了评价过程中的人为主观因素(李祚泳,邬敏,刘智勇,等,2009)。与人工神经网络和支持向量机理论评价方法相比,集对分析法能充分利用样本的分布特性,解决样本数据不足带来的问题,具有不遗失数据中间信息、评价结果与实际情况更为相符的优点,能较好地反映测点(试样)监测值大小差异的真实状况,是分析不确定性多目标决策问题的有效方法,在水质评价和预测方面有非常好的应用前景。

基于投影寻踪的水质评价:投影寻踪(PP)是将统计学、应用数学和计算机技术相结合的适用于处理高维、非线性数据的一种新型的探索性数据分析方法,能有效克服“维数祸根”困难。它的基本思想是利用计算机技术把高维数据投影到低维子空间上,通过使某个投影指标极小化,找出能反映高维数据结构和特征的投

影,以达到分析处理高维数据的目的(Friedman J H, Turkey J W, 1974; Friedman J H, Stuetzle W, 1981; Diaconis P, Friedman D, 1984)。随着新的数学理论和分析技术的出现,三标度法、模糊综合评价法、层次分析法、物元可拓评价法、灰色聚类评价法等多种方法已被应用于水质评价中(李祚泳,汪嘉杨,熊建秋,徐婷婷, 2007)。但是水质评价指标众多,关系复杂,数据量大,具有典型的高维、非线性特征,将投影寻踪应用于水质评价对监测数据不需要做任何假定,能充分利用高维数据中的所有信息,因此,它不仅是一种新的解决问题的思路,而且具有很好的效果。

鉴于投影寻踪模型能在一定程度上解决高维、非正态数据分类问题,近年来,相关学者(周慧成,董四辉, 2005;张欣莉,丁晶,李祚泳,等, 2000;金菊良,魏一鸣,丁晶,等, 2001;彭坤泉,张平, 2007;叶浩,钱家忠,黄夕川,等, 2005)将该模型用于水质综合评价,并取得了较为满意的效果。尽管如此,就投影寻踪模型中各等级取值范围内随机样本生成数量、单位投影向量分量的取值范围、回归模型选择、优化方法选取等问题,不同的学者提出不同的观点(刘建,刘丹, 2009)。有些学者将蚁群算法(方崇,黄伟军,周秀平, 2010)、粒子群算法(赵杰颖,李祚泳, 2007)、遗传算法(GA)(付强,付红,王立坤, 2003;杨晓华,杨志峰,酆建强, 2004)、蛙跳免疫算法(李祚泳,汪嘉杨,程会珍, 2008)等方法应用于水质评价的投影寻踪评价模型中,避免了人为主观因素等影响,使评价结果具有客观公正、收敛较好、精度较高,易于推广应用,为投影寻踪优化问题的解决提供了行之有效的途径。

基于人工神经网络的水质评价:人工神经网络是 20 世纪末发展起来的前沿学科,属于多学科、综合性的研究领域(陈国良,韩文廷, 1996;王学武,谭德建, 2003)。它具有大规模并行处理信息的能力,分布式的信息贮存,自组织、自学习和自适应能力,泛化能力,非线性映射能力,联想功能和容错性与壮实性,因而它为决非线性、不确定性和不确知系统的问题开辟了一条崭新的途径(Rumelhart D E, Hinton G E, Williams R J, 1986)。人工神经网络中应用较多的为 BP 神经网络,将水质评价采用的各种指标作为输入变量,水质分类级别为输出变量。根据样本数据得到的输入、输出之间的权值矩阵,从而对于未知水质的指标进行分类评价(白玉娟,殷国栋, 2010)。

另一种神经网络模型是概率神经网络(PNN)。与 BP 网络、RBF 网络等传统的前馈神经网络相比,概率神经网络具有网络学习过程简单、无需反复训练网络,网络容错性好、模式分类能力强,网络的扩充性能好等优点(熊建秋,李祚泳,汪嘉杨,等, 2005;陈永灿,付健,刘昭伟,等, 2007)。水质评价是一个典型的模式分类问题,水质指标参数作为模型的输入参数,水质级别作为输出参数。网络训练过程中,一般以水质标准中的水质指标值或由其派生的数据作为训练样本,网络训练稳

定后,再对水质监测数据进行相应的综合水质评价。有的学者(董艳慧,周维博等,2009)就采用概率神经网络法对西安市地下水质量进行评价,结果表明概率神经网络水质评价模型具有学习过程简单、容错性好、模式分类能力强及扩充性能好等优点。该方法有表示任意非线性关系和学习等能力,对解决水域的复杂性和动态性这类问题提供了新思想和新方法。

基于支持向量机的水质评价:Vapnik 提出的支持向量机(SVM)是基于结构风险最小化准则(SRM),通过对推广误差(风险)上界的极小化达到最大的泛化能力(Vapnik V N,1995,1998)。它的基本思想是:对线性问题,在样本空间构造出最优(佳)超平面,该最优超平面应使两类不同样本到超平面间的最小距离为最大,从而使学习机的结构风险最小,达到最大的泛化能力;而对非线性问题,则基于 Mercer 核展开定理,可以通过非线性映射,把样本空间映射到一个高维乃至无穷维的特征空间,使在特征空间中可以应用线性学习机方法解决样本空间中的非线性分类和回归等问题(Scholkopf B, Smola A J, 2000; Cortes C, Vapnik V N, 1995)。有的学者(夏琼,钱家忠,陈舟,2009)将支持向量机模型引入水质评价中,通过提取水质影响核心因素,利用支持向量机模型(SVM)对提取的核心因素进行回归分析,得出水质等级,从而定量化探讨水质评价,提高了水质评价的准确性、科学性,为水质评价提供了一种新途径。

综上所述,这些水质评价方法的建立都是针对河流和地下水的污染,在河流和地下水水质的评价方面,水质评价方法已经开始走向成熟,而在池塘淡水养殖水质评价方面的研究却相对不足,上述的评价没有针对池塘淡水养殖水质研究,因此,建立一种针对池塘淡水养殖水质的评价方法是非常必要的。

2.2 关于水质预测方面的研究

水质预测即预测未来排入水体污染物的种类和数量,并据此推断水环境质量发展变化的方向和程度(陈媛,胡恒,王文圣,2010)。水质预测不仅是水资源保护决策的依据,也是制订区域、流域水污染综合防治规划及水资源保护规划的基础(张尧旺,2008)。水质预测的关键在于选择合理的预测模型。目前已提出的 Streeter-Phelps 氧平衡(Streeter H W, Phelps E B, 1925)、QUAL-II 综合水质(郝芳华,李春晖,赵彦伟等,2008)、多元回归、马尔科夫链(钟政林,曾光明,卓利等,1997)、灰色理论、BP 神经网络(袁健,树锦,2008)等预测模型均获得了广泛应用,但各自也有优缺点。如有的模型太过复杂、参数太多且难以确定;有的模型中线性关系难以反映水质变化的不确定性;有的模型对于复杂问题预测精度不高;还