

基于 BP 人工神经网络和模糊理论的 太湖蓝藻水华发生风险评价

张艳会^{1,2}, 徐兆安³, 陈求稳², 李伟峰^{2*}, 张小晴²

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;
3. 太湖流域管理局水文水资源监测局, 江苏 无锡 214024)

摘要: 目前, 湖泊蓝藻水华是我国乃至世界的重大环境问题之一。蓝藻水华的暴发机制复杂, 具有明显的不确定性。以太湖为例, 根据近 5 a 水环境和水华发生的实测数据, 结合 BP (Back Propagation) 人工神经网络和模糊理论, 建立了蓝藻水华发生风险的模糊风险评价方法。对太湖 9 个水环境功能区的评价结果表明: 西部沿岸区、梅梁湖蓝藻水华发生风险最大, 为重度蓝藻水华风险区; 竺山湖、五里湖次之, 为中度蓝藻水华风险区; 南部沿岸区、贡湖、湖心区为轻度蓝藻水华风险区, 东太湖和东部沿岸区水华发生风险最小, 为轻微蓝藻水华风险区。建立的评价方法和评价结果, 可为蓝藻水华的预测、预警以及风险管理提供参考和依据。

关键词: 蓝藻水华; 风险评价; 太湖; BP 人工神经网络; 模糊风险评价;

中图分类号: Q 949 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2011) 09-1092-06

目前, 湖泊蓝藻水华是很多国家面临的重大环境问题。就我国而言, 湖泊富营养化趋势不断加重^[1], 蓝藻水华的发生越来越频繁。例如太湖, 2003 年以来蓝藻水华出现的次数不断增加, 强度在逐年增强^[2], 由此导致的社会经济损失巨大^[3]。2007 年梅梁湖蓝藻水华导致无锡市 200 多万居民饮水危机^[4]。由于蓝藻水华的暴发机制复杂, 受水文、气象、环境等众多因素影响, 太湖不同区域蓝藻水华发生的可能性及程度存在明显差异, 为了有效地减少及预防蓝藻水华带来的影响, 需研究太湖各湖区发生蓝藻水华的可能性, 针对蓝藻水华进行发生风险评价, 为太湖蓝藻水华风险管理提供理论依据。

蓝藻水华暴发的过程相似, 但生消机理复杂, 是多因素共同作用的结果。不仅要求有 N、P 等营养盐条件, 还涉及到风速、微量元素等诸多因素的影响^[5,6], 蓝藻水华形成的不同阶段主要影响因子不同^[7], 影响因子和蓝藻水华之间的关系存在不确定性。作为神经网络之一的 BP 人工神经网络对于处理多因子非线性问题有着成功的应用^[8,9]。模糊风

险理论在描述和量化不确定性问题上具有很大的优势。研究表明, 该方法可代替专家根据给定的样本进行概率估计^[10~12]。

本文以太湖为例, 结合 BP 人工神经网络和模糊风险评价方法, 根据蓝藻水华的生消过程机理和实测数据, 定量分析了太湖不同湖区蓝藻水华暴发的风险, 为蓝藻水华的风险管理和防治提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域介绍

太湖是我国第三大淡水湖, 面积 2 338 km², 平均水深不到 2 m^[13]。20 世纪 60 年代以来, 富营养化程度不断加重^[14], 蓝藻水华问题突出, 是国务院指定重点治理的富营养化水域之一。数据来源于野外监测和资料收集, 具体包括 2005~2009 年每月一次以及 2007 年 5、6 月份水华暴发期间的监测数据, 其监测站点共计 65 个, 覆盖全太湖(图 1)。

收稿日期: 2010-11-29; 修回日期: 2011-02-22

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划): 湖泊蓝藻水华生态灾害形成机理及防治的基础研究(2008CB418100); 中国科学院重大项目(KZCX1-YW-14-4-1): 湖泊富营养化过程监测与水华灾害预警技术与系统集成; 国家自然科学基金项目(50938007): 湖库蓝藻水华及有害次生产物产生机理与调控途径研究; 国家自然科学基金项目(50920105907): 气候变化作用下湖库藻类种群结构演替及其适应性管理

作者简介: 张艳会(1984~), 女, 河南省驻马店人, 硕士研究生, 主要从事河湖富营养化研究。E-mail: xiaohuizi1984@126.com

* 通讯作者 E-mail: rceelw@yahoo.com.cn

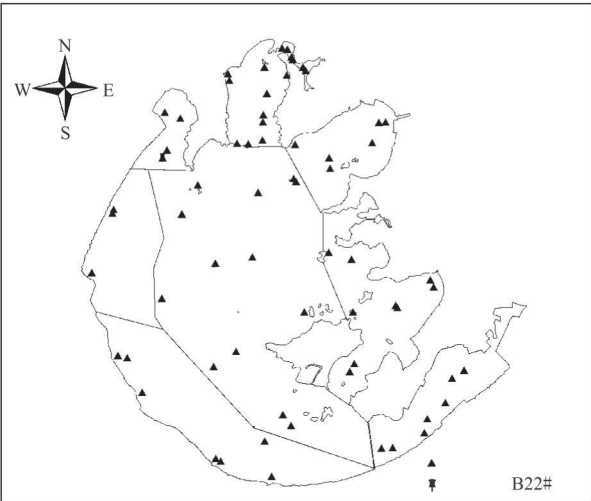


图 1 太湖监测站点的分布图

Fig. 1 Distribution of Monitoring Sites in Lake Taihu

蓝藻水华发生风险是指蓝藻水华暴发的程度及其可能性。蓝藻水华暴发是水生态环境中营养因子及气象水文等因素共同作用的结果。研究表明,太湖蓝藻水华的暴发及其程度与富营养化程度密切相关^[15~17]。因此,有研究沿用富营养化标准来评价蓝藻水华发生程度,即用富营养化评价指标(TN、TP和Chl-a等)评价蓝藻水华的程度^[18];有研究用Chl-a这一指标直接指示蓝藻水华程度^[19];还有研究应用遥感信息,通过反演水体表面藻类分布特征(如聚集面积、分布范围等)来判别蓝藻水华程度^[20]。此外,蓝藻水华的发生和气象因子像水温、风速等也有密切关系^[21~23]。本文总结了已有的研究成果,结合分析太湖近年水环境和水华的实测数据,建立了蓝藻水华发生风险回顾性的评价指标体系(见表1),其中,Chl-a和COD作为蓝藻水华的表征因子,TN、TP是营养盐因子,水温间接表征气象因子。

表 1 太湖水华发生风险回顾性评价指标体系

Tab. 1 Retrospective Risk Evaluation Indexes of Lake Taihu

水华程度	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	T(水温) ($^{\circ}\text{C}$)
轻度水华	10~30	1~5	0.02~0.25	2.5~6.0	9~23
中度水华	25~60	1.5~8.0	0.05~0.40	3.2~9.0	15~25
严重水华	大于55	大于2.2	大于0.15	大于7	大于23

1.2 BP 人工神经网络

BP 人工神经网络是利用非线性可微分函数进行权值训练的多层网络,结构简单、可塑性强,在函数逼近、模糊识别、信息分类等领域得到广泛应

用^[24]。蓝藻水华的暴发和其影响因子之间是复杂的非线性关系,本研究应用 BP 人工神经网络来训练蓝藻水华和影响因子之间的非线性及不确定性关系,进而评价蓝藻水华发生特征,避免人为判断的主观性干扰。其中输入层为蓝藻水华发生的影响因子:Chl-a、TN、TP、COD、水温 5 个参数,输出层为蓝藻水华发生程度值。根据表 1 中影响因子和蓝藻水华程度之间的关系,随机产生 450 个学习样本,表征每种蓝藻水华程度的学习样本为 150 个。输入层到隐含层传递函数选取的是 S 型的正切函数 tan-sig,隐含层到输出层选取的是线性传递函数 Purelin,性能函数为 mse。

1.3 模糊风险评价

模糊风险评价是在模糊信息分配理论^[25]基础上发展起来的一种综合评价方法。现有的风险分析方法主要是针对随机性,采用概率统计方法,来定量描述风险出现的概率^[26]。但概率分析不能准确地揭示风险出现的模糊性和不确定性。在概率分析的基础上,结合模糊理论,建立模糊风险分析方法,能够进一步揭示风险发生的不确定性,即以某概率出现的可能性。本研究结合 BP 人工神经网络和基于模糊信息扩散理论的内-外集模型^[27,28]的模糊风险评价方法,定量评价蓝藻水华发生风险。

综上,蓝藻水华发生风险评价的具体步骤是:(1)根据已有的相关研究成果,结合 2005~2007 年的数据及 2007 年水华期间的数据构建太湖蓝藻水华发生风险回顾性评价指标体系;(2)应用 BP 人工神经网络方法,针对 2008~2009 年 4~10 月份的月监测数据,分析每个监测站点不同时刻的蓝藻水华发生特征;(3)应用模糊风险评价方法评价单个监测站点蓝藻水华发生的风险。下文将以太湖北部一监测站点(B22# 龙头)为例,详细介绍模糊风险的计算过程和结果;(4)最后,根据不同监测站点蓝藻水华发生风险评价结果,综合分析评价太湖不同湖区的蓝藻水华发生风险。

2 结果与分析

2.1 蓝藻水华特征评价结果

基于 1.1 和 1.2 节构建的指标体系和网络结构,应用 BP 人工神经网络经过训练达到最小误差 0.008 时停止训练,其网络训练的结果如下表(表 2),其中,[3 5]为轻度水华,(5 7)为中度水华,大于 7 为重度水华。

表 2 训练后网络的实际输出和期望输出结果

Tab. 2 BP Artificial Network Training Results

水华程度	训练样本					期望输出值	实际输出值
	Chl-a($\mu\text{g/L}$)	TN(mg/L)	TP(mg/L)	COD(mg/L)	T($^{\circ}\text{C}$)		
轻度水华	28.63	3.89	0.12	3.85	19.50	4.863 2	4.854 6
	13.80	2.34	0.19	4.88	10.48	3.380 2	3.379 9
中度水华	36.75	6.72	0.16	6.78	17.69	5.671 2	5.685 5
	59.22	5.89	0.21	6.45	21.83	6.955 2	6.963 7
严重水华	75.79	10.85	0.32	11.29	30.83	8.039 4	8.044 3
	60.07	10.27	0.24	9.27	28.79	7.253 4	7.229 3

通过对太湖历史水华事件的调研,蓝藻水华主要发生在 4~ 10 月份。运用训练的 BP 模型分析 2008~ 2009 年的 33 个监测站点 4~ 10 月份的水华特征。表 3 是 B22# 龙头监测点的评价结果。

表 3 B22# 龙头 BP 人工神经网络的评价结果

Tab. 3 BP Artificial Network Evaluation

Result of the Site B22# Longtou

监测 站点	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	蓝藻水华 程度评价 值
B22# 龙头	473.0	9.25	0.27	16.40	20.10	9.9
	61.5	9.79	0.79	11.60	23.90	7.1
	39.3	2.68	0.04	4.94	30.00	5.9
	83.2	3.15	0.18	10.30	30.80	7.2
	286.0	6.06	0.34	17.30	26.90	9.5
	19.7	5.86	0.07	4.35	14.90	3.4
	23.9	3.29	0.04	5.15	21.70	4.9
	59.2	2.65	0.07	6.86	27.05	7.0
	37.3	2.67	0.07	4.42	27.40	6.1
	58.7	1.62	0.13	6.81	28.50	7.0

表 3 中,蓝藻水华程度值越大,说明蓝藻水华越严重。

2.2 蓝藻水华发生风险评价结果

根据 BP 人工神经网络的结果,应用模糊风险评价方法,评价太湖不同监测点蓝藻水华发生的模糊风险。表 4 是 B22# 龙头监测点的可能性-概率风险。其中, P (Probability) 是蓝藻水华发生的概率, I (Intensity) 是蓝藻水华的程度空间, $\pi_{ij}(p_k)$ 是可能性概率分布 (Possibility-Probability Distribution)。根据表 2 可知,其蓝藻水华程度范围为[3.4, 9.9],这里就把其均分为 4 个程度区间。即 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 。

由表 4 可知,对于区间程度区间 I_1 而言,其发生水华概率为 0.1 的可能性风险为 1,而以概率 0.2 的风险为可能性风险为 0.3。对于一个监测站点而言,某程度的蓝藻水华发生的概率可能有多个,且不同概率下发生的可能性不同,这种计算结果更有利于风险表达和分析。

表 4 监测站点 B22# 龙头的蓝藻水华发生的可能性-概率风险

Tab. 4 Possibility-Probability Risk Evaluation of Cyanobacteria-Dominant Bloom, B22# Longtou Site

	$\pi_{ij}(p_k)$	I_1	I_2	I_3	I_4
p_0	0	0	0.15	0.15	0.1
p_1	0.1	1.0	0.20	0.20	0.2
p_2	0.2	0.3	0.25	0.25	1.0
p_3	0.3	0	0.25	0.25	0
p_4	0.4	0	1.00	1.00	0
p_5	0.5	0	0.30	0.20	0
p_6	0.6	0	0.25	0	0
p_7	0.7	0	0.25	0	0
p_8	0.8	0	0.20	0	0
p_9	0.9	0	0.15	0	0
p_{10}	1.0	0	0	0	0

上述风险表达是一个模糊集,为了更加直观地表达风险,运用模糊截集技术^[27]计算在给定可能性水平之上各种可能发生概率的数学期望值。表 5 是 B22# 龙头监测点水华发生的模糊风险值。

表 5 监测站点 B22# 龙头的模糊风险值

Tab. 5 Fuzzy Risk Evaluation of the Site B22# Longtou

α 水平	监测站点	保守风险值	冒险风险值
0.25	B22# 龙头	7.3	6.5
0.5	B22# 龙头	6.5	6.5

同理计算太湖其它监测站点蓝藻水华发生的模糊风险值,沿用目前广泛应用的太湖水环境功能区划方法,根据自然条件和水环境特征,把太湖分为梅梁湾、竺山湖、五里湖、西部沿岸区、湖心区、贡湖、南部沿岸区、东部沿岸区和东太湖 9 个湖区,取湖区内各监测站点的风险值的平均值,得到 9 个湖区的蓝藻水华发生风险值(表 6)。

表 6 太湖九个湖区的模糊风险值

Tab. 6 Fuzzy Risk Evaluation of Nine Regions in Lake Taihu

α -水平	湖区名称	保守风险值	冒险风险值
0.25	五里湖	6.0	5.8
	梅梁湾	6.0	6.3
	竺山湖	6.6	6.3
	贡湖	5.6	5.5
	东太湖	4.7	4.8
	湖心区	5.6	5.5
	西部沿岸区	6.6	6.6
	东部沿岸区	3.4	3.4
	南部沿岸区	6.6	6.8
0.5	五里湖	5.9	5.8
	梅梁湖	6.5	6.5
	竺山湖	6.4	6.3
	贡湖	5.7	5.6
	东太湖	4.8	4.8
	湖心区	5.5	5.5
	西部沿岸区	6.8	6.8
	东部沿岸区	3.5	3.5
	南部沿岸区	6.1	6.0

投资、保护可以参考保守风险值。为了直观反映各评价单元的风险程度,绘制了太湖 9 个湖区的蓝藻水华发生风险程度分布(图 2),这里考虑到风险值的使用价值和保守风险值普遍高于冒险风险值,这里选取 α 为 0.5 时的保守风险值。

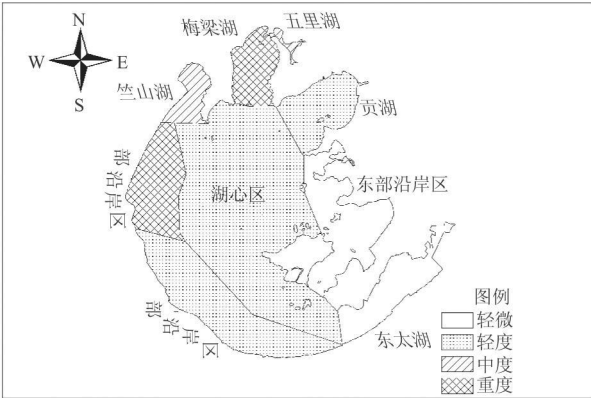


图 2 太湖九个湖区蓝藻水华发生风险区
Fig. 2 Algal Bloom Occurrence Risk of Nine Regions in Lake Taihu

3 讨论

评价结果中,风险值的大小代表潜在蓝藻水华发生的程度,值越大说明发生水华的程度越严重,风险越大。结合蓝藻水华的程度值,小于 5 属于轻微蓝藻水华风险等级,[5,6)属于轻度蓝藻水华的风险等级,[6,6.5)属于中度蓝藻水华风险等级,[6.5,7)属于严重蓝藻水华风险等级,大于 7 属于极严重蓝藻水华风险等级。

表格 4 和表格 5 中, α 是截集的水平,表征的是风险发生的可能性, α 越高,表明蓝藻水华发生的可能性越大,对应的发生概率越靠近真实情况,不确定性就越低。本研究选取 0.25 和 0.5 两种可能性水平进行模糊风险分析。保守风险值是以低概率发生的风险,而冒险风险值是以高概率发生的风险。上述两表结果表明,保守风险值普遍高于冒险风险值, α 为 0.25 时的保守风险值和冒险风险值之差值大于 α 为 0.5 时差值,差值越大说明可靠性越低,可信程度越差。这是因为,高概率的灾害事件发生的强度较小,风险也较小,而低概率灾害事件发生的强度较大,风险也较大,所以保守风险值普遍高于冒险风险值。保守风险值和冒险风险值具有不同的意义,例如短期的太湖资源规划和保护以及投资可以用参考冒险风险值,而为了长期的保护太湖水资源规划、

通过对梅梁湾、竺山湖、贡湖、湖心区、五里湖、东太湖、西部沿岸区、东部沿岸区、南部沿岸区 9 个湖区蓝藻水华暴发的风险值进行对比分析(表 5),太湖蓝藻水华暴发的风险由大到小分别为西部沿岸区、梅梁湾、竺山湖、南部沿岸区、五里湖、贡湖、湖心区、东太湖、东部沿岸区。其中,西部沿岸区和梅梁湾的风险值分别为 6.8 和 6.5,属于严重水华风险区。竺山湖为 6.4,略小于梅梁湾,南部沿岸区、五里湖、贡湖、湖心区分别为 6.5、5.9、5.7、5.5,属于轻度蓝藻水华风险区,东太湖和东部沿岸区的风险值为 4.8 和 3.4,属于轻微蓝藻水华风险区,特别是东部沿岸区风险值较低,基本无蓝藻水华发生。整个太湖,西北-东南蓝藻水华暴发的风险是逐渐降低的。但整个太湖蓝藻水华发生风险分析表明,蓝藻水华暴发风险较大的区域约占 80%,说明目前阶段太湖蓝藻水华暴发的风险较大。

4 结论

针对蓝藻水华暴发的不确定性,本文建立的模糊风险评价方法既可以深入地揭示不同程度水华发生的概率及其可能性,还可以综合评价不同可能性水平对应的总风险特征。对太湖几年蓝藻水华发生风险的评价结果表明,各湖区蓝藻水华暴发的风险由大到小分别为西部沿岸区、梅梁湾、竺山湖、南部

沿岸区、五里湖、贡湖、湖心区、东太湖、东部沿岸区,该评价结果和现实的情况也基本吻合,为太湖蓝藻水华暴发的风险管理提供了依据。

参考文献:

- [1] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 21~ 26.
- [2] 商兆堂, 任 健, 秦铭荣. 气候变化与太湖蓝藻暴发的关系[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 55~ 61.
- [3] 陈荷生, 范成新, 季 江. 太湖富营养化现状, 趋势及其综合整治对策[J]. 上海环境科学, 1996, 16(8): 4~ 7.
- [4] 刘聚涛, 高俊峰, 姜加虎, 等. 基于突变理论的太湖蓝藻水华的分区评价[J]. 湖泊科学, 2010, 22(4): 488~ 494.
- [5] 武胜利, 刘 诚, 孙 军, 等. 卫星遥感太湖蓝藻水华分布及其气象影响要素分析[J]. 气象, 2009(1): 18~ 23.
- [6] 李 威, 杨 健, 刘洪波, 等. 微量元素对水华发生发展的影响[J]. 淡水渔业, 2008, 38(5): 74~ 79.
- [7] 孔繁翔, 高 光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 589~ 595.
- [8] 邓大鹏, 刘 刚, 李学德, 等. 基于神经网络简单集成的湖库富营养化综合评价模型[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 725~ 731.
- [9] 任 黎, 董增川, 李少华. 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.
- [10] HUANG C F. Concepts and methods of fuzzy risk analysis [C]//Risk research and management in Asian perspective. Beijing: International Academic Publishers, 1998.
- [11] HUANG C F, MORAGA C, YUAN X G, et al. Subjective assessment with respect to fuzzy probability[C]//Computational intelligence-theory and applications. REUSCH B ed. Proceedings of 7th International Fuzzy Days Conference. Dortmund, Germany, October 1~ 3, 2001. Heidelberg, Germany: Springer, 2001: 393~ 411.
- [12] HUANG C F, BAI H L. Calculation fuzzy risk with incomplete data [C]//RUAN D, ABDERRAHIM H A, D' HONDT, et al eds. Proceedings of the 4th International FLINS Conference. Bruges, Belgium, August 28~ 30, 2000. Singapore: World Scientific, 2000: 180~ 187.
- [13] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民, 等. 太湖水环境演化过程与机理[J]. 北京: 科学出版社, 2004: 1~ 3.
- [14] 秦伯强, 王小冬, 汤祥明, 等. 太湖富营养化与蓝藻水华引起的饮用水危机——原因与对策[J]. 地理科学进展, 2007, 22(9): 896~ 906.
- [15] 孙伟华, 刘 锐, 陈吕军, 等. 太湖蓝藻水华成因及防治对策研究[J]. 水工业市场, 2009(6): 42~ 46.
- [16] 朱广伟. 太湖水质的时空分异特征及其与水华的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 5(18): 439~ 445.
- [17] 刘 伟. 巢湖蓝藻重度发生时的水质特征分析[J]. 中国环境监测, 2007, 23(4): 101~ 102.
- [18] 郑建军, 钟成华, 邓春光. 试论水华的定义[J]. 水资源保护, 2006, 22(5): 44~ 47.
- [19] 李继影, 徐恒省, 翁建中, 等. 浅水型湖泊蓝藻水华预警监测工作的思考[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(4): 121~ 125.
- [20] 段洪涛, 张寿选, 张渊智. 太湖蓝藻水华遥感监测方法[J]. 湖泊科学, 2008, 20(2): 145~ 152.
- [21] 黄钰铃, 陈明曦, 郭 静. 不同水温下蓝藻水华生消模拟与预测[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2009, 31(1): 84~ 90.
- [22] 范成新, 陈宇炜, 吴庆龙. 夏季盛行风对太湖北部藻类水华分布的影响[J]. 上海环境科学, 1998, 17(8): 4~ 8.
- [23] 夏 健, 钱培东, 朱 玮. 2007 年太湖蓝藻水华提前暴发气象成因探讨[J]. 气象科学, 2009, 29(4): 531~ 535.
- [24] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与 Matlab 7 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 44.
- [25] HUANG C F. Demonstration of benefit of information distribution for probability estimation[J]. Signal Processing, 2000, 80(6): 1 037~ 1 048.
- [26] BEDFORD T, COOKE R. Probabilistic risk analysis: Foundations and methods [M]. Beijing: World publishing Corporation, 2003: 3~ 4.
- [27] 黄崇福. 自然灾害风险评价: 理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 130~ 134.
- [28] 张俊香. 新一代自然灾害风险区划原理与方法研究——以地震灾害为例[D]. 北京: 北京师范大学资源学院博士学位论文, 2005: 21~ 29.

INTEGRATION OF BP ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND FUZZY
THEORY ON EVALUATING CYANOBACTERIA-DOMINANT
BLOOM OCCURRENCE RISK OF LAKE TAIHU

ZHANG Yan-hui^{1,2}, XU Zhao-an³, CHEN Qi-wen², LI Wei-feng², ZHANG Xiao-qing²

- (1. Institute of Resource, Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China;
- 2. Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;
- 3. Monitoring Bureau of Hydrology and Water Resources, Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, China)

Abstract: Cyanobacteria-dominant bloom is one of the most serious environmental problems both in China and all the world. However, the algal bloom outbreak mechanisms are complex with obvious uncertainty. This study aimed to develop an approach to evaluate algal bloom occurrence risk in Lake Taihu. Firstly, BP artificial neural network was applied to reveal the relations of algal bloom and the impact factors in order to evaluate the status of algal bloom. Then, according to these results, the fuzzy theory was integrated to deeply evaluate algal bloom occurrence probability with different possibility, which would greatly quantify the uncertainty of algal bloom outbreak. Finally, the composite algal bloom occurrence risk of Lake Taihu was assessed based on the recent five years' monitoring data with 65 sites. The results showed that the west coast area and Meiliang Bay are of the highest risk, Lake Zhushan and Lake Wuli are of moderate risk, the southern coast area, Lake Gonghu and the central region of Lake Taihu are of low risk, Middle East area and East Lake are of little risk. The methodology developed and results can be utilized to support further study on algal bloom forecast and water resource management.

Key words: cyanobacteria-dominant bloom; risk evaluation; Lake Taihu; BP artificial neural network; fuzzy risk evaluation