

研究论文

城市湖库蓝藻水华形成机理

王小艺, 唐丽娜, 刘载文, 崔荆凤, 许继平, 赵晓平

(北京工商大学计算机与信息工程学院, 北京 100048)

摘要: 水华防治是水环境污染治理的重点, 而对水华形成机理的深入把握是解决这一问题的关键。在对城市湖库蓝藻水华形成过程深入分析的基础上, 通过实验室模拟城市湖库蓝藻水华形成的整个过程, 结合正交试验方法和粗糙集理论获取影响城市湖库蓝藻水华形成的关键因子——溶解氧、温度、光照、氮、磷, 作为蓝藻水华形成机理建模的输入参量, 以叶绿素 a 作为城市湖库蓝藻水华形成的表征指标, 根据相互之间的作用机制构建了适合于描述城市湖库蓝藻水华形成过程的机理模型, 同时通过改进的粒子群优化算法对机理模型中涉及的参数如蓝藻最大生长率、光半饱和常数、光系数、氨氮半饱和常数和溶解氧半饱和系数、蓝藻最大死亡率以及净损失率等进行非线性优化率定, 提高了城市湖库蓝藻水华形成机理模型的适用性及有效性, 为深入研究蓝藻水华形成机理提供一条有效途径。

关键词: 城市湖库蓝藻水华; 形成机理; 正交试验; 粗糙集理论; 粒子群算法

DOI: 10.3969/j.issn.0438-1157.2012.05.024

中图分类号: TH 873.7

文献标志码: A

文章编号: 0438-1157 (2012) 05-1492-06

Formation mechanism of cyanobacteria bloom in urban lake reservoir

WANG Xiaoyi, TANG Lina, LIU Zaiwen, CUI Lifeng, XU Jiping, ZHAO Xiaoping

(Beijing Technology & Business University, College of Computer and Information Engineering, Beijing 100048, China)

Abstract: The treatment and prevention of water bloom play a significant role in efficiently controlling water pollution, and the key to solve this problem is to understand formation mechanism of water bloom. Based on a further analysis for the formation process of cyanobacteria bloom in urban lake reservoir, and the whole process is simulated in laboratory, orthogonal experiment and rough set theory are combined to get key factors (DO, TP, TN, temperature and illumination) that can impact formation of cyanobacteria bloom and used as input parameters in establishment of mechanism model for the formation of cyanobacteria bloom in urban lake reservoir. Chlorophyll a is adopted as a characterization index for the formation of cyanobacteria bloom, and based on mechanism of interaction, a model of the process applied to describe cyanobacteria bloom formation in urban lake reservoir is structured. Meanwhile, the parameters involved in this model, such as G_{\max} , I_s , ρ , K , K_{ab} , D_{\max} , m_p , can be estimated and nonlinearly optimized by improved PSO (particle swarm optimization), which can highly enhance the model applicability and validation. The method provides an efficient approach for further study on formation mechanism of cyanobacteria bloom.

Key words: cyanobacteria bloom in urban lake reservoir; formation mechanism; orthogonal experiment; rough set theory; PSO

2011-11-10 收到初稿, 2011-12-20 收到修改稿。

联系人及第一作者: 王小艺 (1976—), 男, 博士研究生, 副教授。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51179002); 北京市科技新星计划项目 (2010B007); 北京市自然科学基金重点项目 (8101003)。

Received date: 2011-11-10.

Corresponding author: WANG Xiaoyi, sdwangxy@163.com

Foundation item: supported by the National Natural Science Foundation of China (51179002), the Beijing New Star Project on Science & Technology (2010B007) and the Beijing Natural Science Key Foundation (8101003).

引言

随着全球水体富营养化的加剧，城市湖库水华现象越发普遍，所造成的环境和经济问题已引起人们的广泛关注，水体富营养化由于其危害大，处理难，恢复慢，已被列入全球水污染问题^[1]。目前，欧洲、非洲、北美洲和南美洲分别有 53%、28%、48% 和 41% 的湖泊存在不同程度的富营养化现象，而亚太地区有 54% 的湖泊处于富营养化状态^[2]。由于湖库是生活饮用水和工业用水的供给水源，而水体富营养化影响了供水水质并且增加了制水成本，给社会环境与经济带来了极大影响^[3]。

从 20 世纪 70 年代初期开展富营养化机理研究至今，富营养化机理建模研究取得了飞速发展，从 Vollenweider^[4] 提出的简单总磷模型，发展到现在包含几十个生态变量的多种生态动力学模型^[5-7]。虽然生态机理建模取得了很大进展，但仍存在很多不足。如 Vollenweider 提出的简单总磷模型只针对总磷的平均浓度分布建立模型，无法反映大型湖库中总磷的时空差异；单一营养盐模型只把一种营养盐（如磷或氮）视为限制性营养元素，不能模拟水体中两种或多种营养盐含量相当的情况；生态动力学模型等所涉及的参数众多，各参数之间表现出高度的非线性和不确定性，且模型不具备自校正功能，使得建模相当困难、复杂。目前，国内学者大多是针对典型湖库（如太湖、巢湖水域）的藻类水华形成机理进行研究^[8-11]，对于城市内陆湖库的研究很少，限制了藻类水华形成机理模型的适用范围。

由于城市湖库蓝藻水华形成过程存在很多不确定因素，机理模型中参数过少则不能反映水体富营养化过程，而参数过多则很难描述各参数之间的非线性作用机制。因此，针对内陆城市湖库水体特点，通过搭建化工实验室阳光房模拟城市湖库蓝藻水华形成过程，采用正交试验结合粗糙集理论获取影响城市湖库蓝藻水华形成的关键因素，进而根据各关键因素对城市湖库蓝藻水华形成的作用机制，建立蓝藻水华形成机理模型；同时运用改进的粒子群进化算法对机理模型的多参数进行非线性优化率定，以解决传统机理模型中各参数间非线性关系难以描述的问题。

1 城市湖库蓝藻水华形成关键影响因素获取

影响城市湖库蓝藻水华形成的因素很多，关键影响因素确定对于蓝藻水华形成机理建模至关重要。城市湖库蓝藻水华形成的模拟实验通过搭建阳光房实验室，最大限度地模拟自然环境下蓝藻水华形成过程，通过控制水体的氮、磷、溶解氧、光照、水温等主要影响因素研究这些因素变化对蓝藻水华形成的影响，进而研究不同影响因素之间的相关性，确定蓝藻水华形成机理建模参量，为机理建模提供大量实验数据。

1.1 城市湖库蓝藻水华形成表征指标选定

由于城市湖库水华形成是大量蓝藻聚集的结果，蓝藻密度是公认的反映水体浮游生物量多少的重要指标。通过实验分析蓝藻密度与叶绿素 a 的相关性，以验证叶绿素 a 作为城市湖库蓝藻水华的表征参数。

模拟实验选用的主要仪器和设备包括透明玻璃水缸、光照培养箱、YSI6600 多功能水质在线测定仪、Weather Station 气象站、可见光分光光度计等，实验水样取自北京市玉渊潭。将实验室培养水样放置在培养箱中，以光照 5000lx、恒温 26℃ 进行培养，使用 YSI6600 型多功能水质在线测定仪获取叶绿素 a 浓度。蓝藻密度与叶绿素 a 相关性分析如图 1 所示。

当叶绿素 a 浓度高于 $40 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，各水样叶绿素 a 浓度与蓝藻密度的变化趋势趋于一致，符合线性关系（对其进行回归分析表明两者呈显著相关，相关系数在 0.8705 以上）。当叶绿素 a 浓度低于 $40 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，水样水质相对较好，营养状态

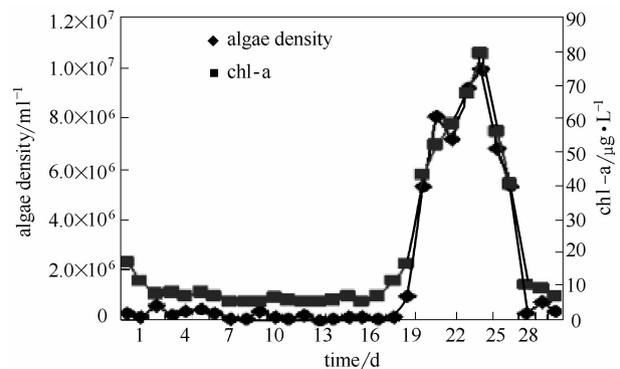


图1 蓝藻密度与叶绿素 a 相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of cyanobacteria density and chl-a

较好，在优势种群方面差异明显；叶绿素 a 浓度高于 $40 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，随着水体中藻类的大量增殖，水质条件恶化，多数优势藻类不适应水环境而死亡，生物多样性下降，此时水体中的藻种相对单一，且相同藻种藻细胞中所含的叶绿素 a 浓度大体相同，所以蓝藻细胞密度增加时叶绿素 a 浓度也同比例增加。可见，在叶绿素 a 浓度高于 $40 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，蓝藻密度与叶绿素 a 含量具有高相关性，所以将叶绿素 a 浓度作为表征城市湖库蓝藻水华形成的主要指标。

1.2 正交试验分析城市湖库蓝藻水华形成关键影响因素

采用正交试验研究影响城市湖库蓝藻形成的关键因素与叶绿素 a 相关性。

1.2.1 水温、光照、总氮、总磷与叶绿素 a 相关性分析 试验选择水温、光照、总氮和总磷 4 个影响因素，在各因素水平选择上，设计一组四因素三水平 $L_9(3^4)$ 的试验。以城市湖库蓝藻最大现存量（以叶绿素 a 浓度表示）为结果进行正交试验与极差分析，试验结果如表 1 所示。

表 1 中 K_1 、 K_2 、 K_3 三个数分别是第一水平、第二水平、第三水平所在实验中对应的叶绿素 a 值之和；极差 R 是同一列中 k_1 、 k_2 、 k_3 三个数中的最大值与最小值之差，极差越大说明这个因素的水平改变对试验指标的影响越大。

图 2 给出城市湖库蓝藻最大现存量为结果 $L_9(3^4)$ 正交试验分析结果，结果表明 4 个因素对城市湖库蓝藻生长和繁殖的影响趋势是一致的，蓝藻生长随着各因素的增大而增大，当增大到一定数值时，蓝藻生长开始下降，即存在一个最适值，也就是存在最佳的城市湖库蓝藻生长水温、光照、氮和磷。根据正交试验分析可以得出结论：关键因素对

表 1 城市湖库蓝藻最大现存量为结果 $L_9(3^4)$

正交试验结果与极差分析

Table 1 Orthogonal experiment results and range analysis for result of largest extant quantity of cyanobacteria in urban lake reservoir

Serial number	Illuminance /lx	Temperature /°C	TN /mg·L ⁻¹	TP /mg·L ⁻¹	Chl-a /μg·L ⁻¹
1	6000	20	0.5	0.05	9.3
2	6000	28	2	0.2	34.3
3	6000	35	4	0.1	29.8
4	12000	20	2	0.1	21.7
5	12000	28	4	0.05	36.7
6	12000	35	0.5	0.2	36.1
7	18000	20	4	0.2	28.2
8	18000	28	0.5	0.1	44.1
9	18000	35	2	0.05	37.1
$k_1=K_1/3$	24.467	19.733	29.833	27.7	
$k_2=K_2/3$	31.5	38.367	31.033	32.867	
$k_3=K_3/3$	36.467	34.333	31.567	31.867	
R	12	18.634	1.734	5.167	

城市湖库蓝藻水华形成影响大小依次为：水温、光照、磷、氮。

1.2.2 溶解氧 DO 与叶绿素 a 相关性分析 取原水样测定氮、磷、叶绿素 a 浓度，将原水过滤后除去水中的悬浮固体颗粒。加入 18 L 原水稀释到 80 L，按照氮浓度 $1.129 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、磷浓度 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、氮磷比 25 : 1 加入氮 (KNO_3) 和磷 (KH_2PO_4) 后开始试验，通过对试验数据进行统计和相关性分析，对影响因素 DO 和叶绿素 a 浓度进行相关性分析结果如图 3 所示。

如图 3 所示，溶解氧的变化趋势与表征城市湖库蓝藻生长的叶绿素 a 浓度曲线之间存在明显的正相关（相关系数达到 0.84），说明在城市湖库水体中的浮游蓝藻进入对数增长期，叶绿素 a 浓度迅速升高，相对应的城市湖库水体中的溶解氧浓度也迅

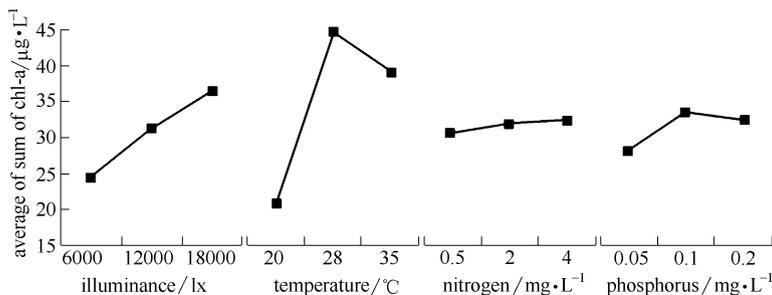


图 2 城市湖库蓝藻最大现存量为结果 $L_9(3^4)$ 正交试验直观分析图

Fig. 2 Orthogonal experiment intuitive analysis diagram for result of largest extant quantity of cyanobacteria in urban lake reservoir

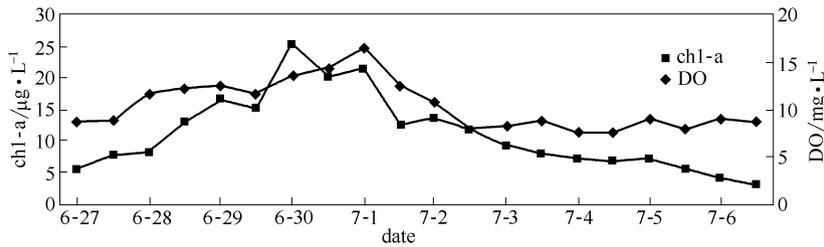


图 3 DO 与 chl-a 浓度相关性

Fig. 3 Correlation between chl-a and DO

(training condition: natural illumination and temperature, TP=0.1 mg · L⁻¹, TN=1.129 mg · L⁻¹, N/P=25 : 1)

速增大。

1.3 粗糙集获取城市湖库蓝藻水华关键影响因子

粗糙集理论作为一种数据分析处理理论，能定量分析处理不精确、不一致、不完整信息与知识^[12]。属性约简是粗糙集的基础，在不影响原来系统分类的情况下，删除不相关或不重要的条件属性，使原系统得到简化^[13]。为确定城市湖库蓝藻水华形成过程的关键影响因素，对阳光房蓝藻水华形成模拟试验得到的多个影响因素进行粗糙集分析。将蓝藻水华影响因素作为论域 U ，将城市湖库蓝藻水华的主要影响因素作为条件属性集，即 $C = \{\text{总氮, 总磷, pH 值, 溶解氧, 化学需氧量, 电导率, 水温, 光照, 透明度}\}$ ，决策属性为 $D = \{\text{叶绿素 a 浓度}\}$ 。使用粗糙集属性约简算法对城市湖库蓝藻水华影响因素进行约简分析，得到各条件属性对决策属性的影响率，如表 2 所示。

表 2 城市湖库蓝藻水华影响因素的粗糙集分析

Table 2 Cyanobacteria bloom rough set analysis on influencing factors in urban lake reservoir

Influence factors	Contribution rate(important)/%	Influence factors	Contribution rate(general)/%
TP	95.13	COD	75.42
temperature	93.75	pH value	64.28
illuminance	91.87	electrical conductivity	52.79
TN	87.69	SD	41.55
DO	83.26		

从粗糙集分析可以得出，对城市湖库蓝藻水华形成影响率由大到小影响因素排序：总磷、水温、光照、总氮、溶解氧、化学需氧量、pH 值、电导率、透明度 (SD)。可见，蓝藻水华形成主要影响因素 (贡献率在 80% 以上) 有总磷、水温、光照、总氮、溶解氧，将粗糙集分析结果与正交试验结论进行综合考虑，可以确定城市湖库蓝藻水华形成机理建模的参量：水温、光照、总磷、总氮、溶

解氧。

2 城市湖库蓝藻水华形成机理建模

2.1 城市湖库蓝藻水华形成机理数学模型建立

考虑一个充分混合的湖库水体，在 dt 时段内进行叶绿素质量平衡分析。在 dt 时段内湖库水体叶绿素的增量为^[14]

$$V(G_p - D_p)c_a dt - Au_p c_a dt + (Q_1 c_{a1} - Qc)dt \quad (1)$$

式中 V 为湖库体积； G_p 和 D_p 分别表示浮游植物叶绿素生长率和死亡率， d^{-1} ； c_a 为浮游植物叶绿素含量， $mg \cdot L^{-1}$ ； c_{a1} 为浮游植物叶绿素流入含量， $mg \cdot L^{-1}$ ； u_p 为浮游植物沉降率； A 为浮游植物的沉降面积， m^2 。

另一方面，在 dt 时段内水体中总叶绿素增量又可以表达为

$$[c_a(t+1) - c_a(t)]V = V \frac{dc_a}{dt} dt \quad (2)$$

根据质量守恒定律，且在流入流出的水量很少的城市湖库里，不考虑式(1)第三项，有

$$V \frac{dc_a}{dt} = V(G_p - D_p)c_a - Au_p c_a \quad (3)$$

式(3)中右边第一项表示浮游植物的净增长率，第二项表示浮游植物沉降到水底总质量。由于 $V = AH$ ，即 $A = \frac{V}{H}$ ，有

$$Au_p = \frac{V}{H}u_p = Vm_p \quad (4)$$

其中， $m_p = \frac{u_p}{H}$ ，表示净损失率， s^{-1} 。将式(4)代入式(3)，化简得

$$\frac{dc_a}{dt} = (G_p - D_p)c_a - m_p c_a \quad (5)$$

城市湖库蓝藻水华形成主要取决于光强、水温、总氮、总磷和营养物质浓度等因素，可建立

$$G_p = G(T) \times G(I) \times G(P) \times G(DO) \times G(NH_3-N) \quad (6)$$

其中， $G(T)$ 、 $G(I)$ 、 $G(P)$ 、 $G(DO)$ 、 $G(NH_3-N)$

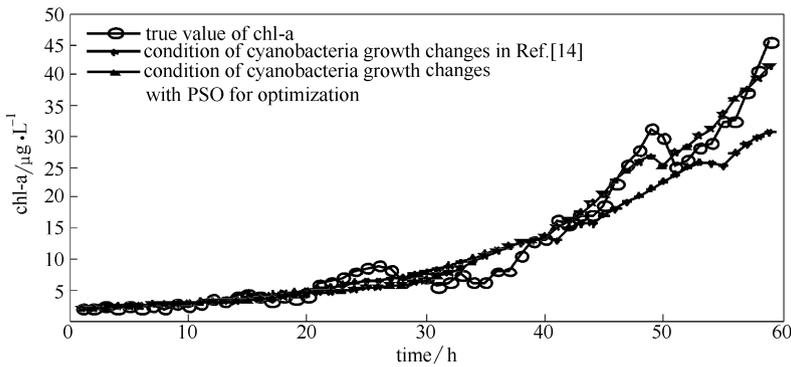


图 4 基于进化方法的城市湖库蓝藻水华机理模型结果

Fig. 4 Results of cyanobacteria bloom mechanism model based on evolutionary method

分别为水温、光照、磷元素、溶解氧、氨氮对城市湖库蓝藻生长的影响，分别近似表示为

$$G(T) = G_{\max} \times 1.066^{(T-20)} \quad (7)$$

$$G(I) = \frac{1}{\partial h} \ln \frac{I_0 + I_s}{I_0 e^{-2\partial h} + I_s} \quad (8)$$

$$G(\text{DO}) = \frac{\text{DO}}{\text{DO} + K_{ab}} \quad (9)$$

$$G(\text{P}) = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + K_p} \quad (10)$$

$$G(\text{NH}_3\text{-N}) = \frac{1.0195^{\text{TNH}_3\text{-N}}}{1.0098^{\text{TNH}_3\text{-N}} + K} \quad (11)$$

式中 G_{\max} 为蓝藻最大生长率， T 为水温， I_0 为光照强度， I_s 为光的半饱和常数， ∂ 为光系数， h 为水深， K_{ab} 为溶解氧的半饱和系数， K_p 为磷的半饱和系数， K 为氨氮的半饱和常数。

D_p 为浮游植物死亡率，表示为

$$D_p = D_{\max} \times 1.08^{(T-20)} \quad (12)$$

将式(7)~式(12)代入式(5)，有

$$\frac{dc_a}{dt} = [0.899G_{\max} \times 1.066^{(T-20)} \frac{1.0195^{\text{TNH}_3\text{-N}}}{1.0098^{\text{TNH}_3\text{-N}} + K} \frac{1}{\partial h} \times \ln \frac{I_0 + I_s}{I_0 e^{-2\partial h} + I_s} \frac{\text{DO}}{\text{DO} + K_{ab}} - D_{\max} \times 1.08^{(T-20)} - m_p] c_a \quad (13)$$

蓝藻水华形成数学机理模型中待率定的参数有：蓝藻最大生长率 G_{\max} ，光半饱和常数 I_s ，光系数 ∂ ，氨氮半饱和常数 K ，溶解氧半饱和系数 K_{ab} ，蓝藻最大死亡率 D_{\max} 以及净损失率 m_p 7 个参数。

2.2 基于粒子群算法的机理模型参数率定

粒子群优化算法是一种基于群体的随机全局优化算法，它从随机解出发，通过迭代寻找最优解，以适应度来评价解的品质^[15]。考虑到该算法在解决非线性问题方面的优越性，采用加动态权重和动

态的惯性权值的改进粒子群算法实现对城市湖库蓝藻水华形成机理模型中参数的优化率定。

结合实验要求，选取各参数值的初估值，并确定各参数的估值范围，作为各参数值的约束条件(如表 3 所示)，将初估值分别代入机理模型求解，并将机理模型计算值与实测值偏差的平方和作为目标优化函数，即

$$F = \sum_{i=1}^n [c'_a(t_i) - c_a(t_i)]^2 \quad (14)$$

式中 $c'_a(t_i)$ 为机理模型的计算值， $c_a(t_i)$ 为叶绿素 a 浓度的实际监测值。

采用粒子群算法对城市湖库蓝藻水华形成机理模型参数优化率定，结果见表 3。

表 3 机理模型参数率定结果

Table 3 Calibration result for parameter of mechanism model

Parameter	Range	Calibration result
maximum growth rate, G_{\max}	0.01—20	0.1007
saturation coefficient of light, I_s	0.01—20	0.01
optical coefficient, ∂	0.01—10	0.01
saturation coefficient of DO, K_{ab}	0.01—10	5.1014
saturation coefficient of $\text{NH}_3\text{-N}$, K	0.01—2	2
the greatest mortality, D_{\max}	0.01—5	0.01
net loss rate, m_p	0.01—1	0.01

将上述参数优化率定结果代入式(13)，并与文献 [14] 结论及实际叶绿素 a 浓度的检测值进行比较，结果如图 4 所示。

由图 4 可知，基于进化方法的城市湖库蓝藻水华形成机理模型能很好地模拟蓝藻水华形成过程中藻类的生长变化规律，尤其在蓝藻水华爆发阶段(叶绿素 a 浓度大于 $40 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) 更能体现出该模型的优越性，其平均相对误差为 1.71%；而文献

[14]的平均相对误差为3.9%。可知,将智能算法与数学机理建模技术有机结合,可以有效提高城市湖库蓝藻水华形成机理建模的精度及适应度。

3 结 论

(1) 通过设计正交试验,分析了影响城市湖库蓝藻水华形成的主要因素,结合粗糙集理论确定了影响城市湖库蓝藻水华形成的关键因子,为蓝藻水华形成机理研究提供模型参量;

(2) 针对城市湖库水体特点,构建了城市湖库蓝藻水华形成的数学机理模型,为深入研究蓝藻水华形成机理提供了理论依据;

(3) 将智能进化方法引入到机理建模中,运用改进的粒子群算法对城市湖库蓝藻形成机理模型中的多参数进行非线性优化率定,较好地模拟了蓝藻生长变化趋势。

由于城市湖库蓝藻水华形成机理模型中涉及很多的限制性因素,而且各个因素之间存在着相关性和拟相关性,因此单一数学机理模型的有效性及适应性受到限制,将人工智能技术与数学机理建模技术有效地结合,充分发挥各种方法的优势,将为复杂水环境建模研究提供一种有效途径。

References

- [1] Jing Xiangcan. Lake Eutrophication Control Management Techniques [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001: 134-164
- [2] David A Carona, Marie-Eve Garneau, Erica Seuberta. Harmful algae and their potential impacts on desalination operations off southern California [J]. *Water Research*, 2010, **44** (3): 385-416
- [3] Cui Guangbo, Liu Ling, Yao Qi. Eutrophication Control Mechanism Research in Taihu Lake [M]. Beijing: China Water Power Press, 2009
- [4] Vollenweider R A. The scientific basis of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors [J]. *Technical Report Oecd, Paris DAS/CS1/68*, 1968 (27): 1-182
- [5] Kirchner W B, Dillon P J. Comment on an empirical method of estimating the retention of phosphorus in lakes [J]. *Water Researches*, 1975, **2** (1): 182-183
- [6] JΦrgensen S E. Structural dynamic model [J]. *Ecological Modeling*, 1986, **31**: 1-9
- [7] Zhan Min, Wu Rui, Lei Jinglei. A numerical model of algal bloom based on the synchronization of complex networks theory [J]. *Acta Scientiae Circumst Antiae*, 2009, **29** (10): 2224-2230
- [8] Liu Yuanbo, Chen Weimin, Fan Chengxin, et al. Ecological simulation of blue algal bloom in Meiliang bay, Taihu lake and analysis of its harness strategies [J]. *Journal of Lake Science*, 1998, **10** (4): 53-59
- [9] Xu Qiuji, Qin Boqiang, Chen Weimin. Ecological simulation of algae growth in Taihu lake [J]. *Journal of Lake Science*, 2001, **13** (2): 149-156
- [10] Zhu Yuanchun, Cai Qiming. The dynamics research of the influence of wind field on the migration of algae in Taihu lake [J]. *Journal of Lake Science*, 1997, **9** (2): 152-158
- [11] Xie Xingyong, Zu Wei, Qian Xin. Numerical study on the ecological dynamics of phosphorus circle in Taihu lake [J]. *China Environmental Science*, 2011, **31** (5): 858-862
- [12] Wang Guoyin, Yao Yiyu, Yu Hong. A survey on rough set theory and application [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2009, **32** (7): 1229-1246
- [13] Gao Xuedong, Ding Jun. A new attribute algorithm for reduction of information system [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2007, **1** (1): 133-135
- [14] Wu Qiamei, Liu Zaiwen, Wang Xiaoyi, et al. Algae growth modeling based on optimization theory and application to water-bloom prediction [J]. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)* (化工学报), 2008, **59** (7): 1869-1873
- [15] Huang Lei. The overview of particle swarm optimization algorithm [J]. *Mechanical Engineering & Automation*, 2010, **5**: 197-199