

淡水养殖池塘水质预警模型^{*}

王瑞梅, 何有缘, 傅泽田^{**}

中国农业大学经济管理学院, 北京 100083

摘要: 在淡水养殖池塘水质评价指标体系及阈值确定的基础上, 建立了淡水养殖池塘水质单因子状态预警模型、多因子状态预警模型、趋势预警模型和鱼类生存指数预警模型, 确定了淡水养殖池塘水质预警的警级标准。利用预警模型对淡水养殖池塘水质进行监测, 结果表明模型具有良好的实用性。

关键词: 淡水养殖; 水质预警模型; 状态预警; 趋势预警; 鱼类生存指数预警

中图分类号: X832 文献标识码: A 文章编号: 1009-5684(2011)01-0084-05

DOI: CNKI: 22-1100/S.20101215.1415.003

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/22.1100.S.20101215.1415.003.html>

Water Quality Early Warning Models in Aquaculture Pond

WANG Rui mei, HE You yuan, FU Ze tian

College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China

Abstract: Based on evaluation index system of fresh water cultivation pond water quality and threshold definition, early-warning model of one factor condition, early-warning model of multiple factor condition, early-warning model of tendency and early-warning model of Pisces survival index were founded. Early-warning rank standard of early warning of fresh water cultivation pond water quality was determined. Through inspection, the model has favourable practicability.

Key words: aquaculture; water quality early-warning model; condition early-warning; tendency early-warning; early warning of pisces survival index

预警理论最早应用于军事领域的雷达技术及导弹防御系统, 近年来其理论在洪水预报、农业经济、气象、环境灾害等方面得到了广泛应用^[1-3]。预警研究主要针对突发灾害, 且主要应用于自然科学中, 人们熟知的气象预报预警就是成功的范例。

随着预警在各领域中发展应用, 预警理论被逐渐引入到水质管理, 并取得了一定的成绩^[4-6]。董志颖等^[7-8]利用地理信息系统的空间分析功能, 将预警结果与其他地理信息相叠加, 对水质预警的方法和流程起到了推进作用, 并对水质预警的涵义进行了全面的分析; 洪梅等^[9]以地下水为研究对象, 提出了地下水级别预警方法; 龚明等^[10]

以汉江为研究对象, 建立了水质预警的信息平台, 为水质预警在智能方面的研究奠定了基础; 李秉文等^[11]在水域预报预警结构设计上提出了新的观点, 将信息理论和方法及计算机技术同水质预警融合, 完成了水域预报预警结构设计方案。

淡水养殖池塘水质是一个非常复杂的生态系统, 在整个养殖过程中会受到许多因素的干扰, 致使淡水养殖池塘水质严重偏离正常生产的轨道, 这是淡水养殖池塘水质的警情。水质预警的最终目的是进行有效的淡水养殖池塘水质管理。淡水养殖池塘水质预警就是预测预报渔业水质警情, 在一定范围内, 对某一时期的水质状况进行分析、评价, 对其发生及其未来发展状况进行预测, 预报

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(40801227), 农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室开放基金项目(KFT2006-7)

作者简介: 王瑞梅, 女, 博士, 副教授, 研究方向: 渔业信息管理与资源环境评价。

收稿日期: 2010-07-16 网络出版时间: 2010-12-15 14:15

** 通讯作者

不正常状况的时空范围。它具有先觉性、预见性的超前功能, 具有对水质演化趋势、方向、速度、后果的警觉作用。

对池塘水质系统完整的研究很少^[12-14], 并且没有对池塘水质的统计资料, 缺乏超前的信息支持, 而事后的统计监督难以在水质恶化前有效、及时地予以警告。淡水养殖池塘需要建立起一套完整、超前的水质预警系统, 在池塘水质警情发生前, 给予有效、及时的警告, 为合理利用池塘水资源和改善池塘水质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间

池塘水质问题一般出现在炎热季节的高产鱼池, 因这时水温高、鱼的生长快、投饵多、施肥量大、浮游植物繁殖旺盛、耗氧大, 容易造成水质恶化。因此, 本试验选择在 2008 年 7 月 3 日和 2008 年 7 月 15 日进行。前者数据为第 1 组, 后者数据为第 2 组。

1.2 地点

试验选取了天津市精武集团淡水养殖厂 1~4 号露天池塘。各池塘面积均为 2.67 hm², 1~4 号池塘水深分别为 91, 93, 90, 96 cm, 1, 3, 4 号池塘均放养鲤鱼, 2 号池塘放养鲤鱼和鲫鱼; 放养量均为 6.4 万尾。

1.3 样本的采集

采用 5 点采样法采集样本, 采集后的水样均匀混合后进行试验。

1.4 监测方法

参照文献[15], 采用化学试验方法检测池塘

表 2 淡水养殖池塘水质监测数据

Table 2. Monitoring data of fresh water cultivation pond water quality

池塘号 Pond No.	组别 Group	透明度/cm SD	pH	总氮/(mg·L ⁻¹) TN	溶解氧/(mg·L ⁻¹) DO	浮游植物量/(mg·L ⁻¹) Phytoplankton
1	1	15	8.86	3.12	6.02	68.36
1	2	13	8.69	4.26	5.23	55.62
2	1	14	8.64	1.35	5.65	56.65
2	2	12	8.80	4.23	5.95	68.98
3	1	15	8.30	2.36	5.26	72.36
3	2	15	9.00	4.68	5.13	55.12
4	1	18	8.83	1.52	6.89	55.23
4	2	17	8.61	3.65	7.25	79.62

经单因子状态预警模型预警验证, 该淡水养

殖场 3 号池第 2 组溶解氧及 pH 的 EMD 分别为

2 结果与分析

2.1 单因子状态预警模型

2.1.1 模型建立 针对警情的突发性, 建立池塘水质单因子状态预警模型。针对池塘水质的每个因子进行状态预警, 公式如下:

$$EWD = \begin{cases} \frac{C_i}{C_{oi}} & (1-1) \\ \frac{C_{oi}}{C_i} & (1-2) \end{cases} \quad (1)$$

式中: EWD 为单因子状态预警指数, C_i 为单项水质因子的实测浓度, C_{oi} 为单项水质因子的渔业水质最高允许标准值。当渔业水质标准中对因子的标准值要求为大于某一具体值时应用公式(1-1), 小于某一具体值时应用公式(1-2)。单因子水质状态预警级别的确定如表 1。

表 1 单因子预警级别

Table 1. Early warning rank of one factor

单因子状态预警指数 EWD	单因子状态 Single index condition	预警级别 E _p Early warning level
> 0.9	理想状态	1
0.7~0.89	良好状态	2
0.5~0.69	一般状态	3
0.2~0.49	较差状态	4
< 0.2	恶劣状态	5

2.1.2 模型验证 对 4 个池塘 2 个组别监测的结果见表 2。

1.20, 0.95, 均为理想状态, 预警级别为 1。

池塘浮游植物量、透明度、总氮的渔业水质标准未规定, 因此对其状态和预警级别无法判定。单因子状态预警表明, 3号池塘第2组中池塘水的溶解氧和 pH 值指标均处于较好状态, 应继续保持池塘水质。

2.2 多因子状态预警模型

2.2.1 多因子状态预警模型的建立

针对警源的复杂性, 建立了多因子状态预警模型, 多因子水质状态预警模型是建立在单因素水质状态预警模

型的基础上, 按照各单因素水质级别在池塘水质预警中出现的频率评价多因素水质状态预警级别, 公式如下:

$$F\{E(t) \leq E_p\} \geq a \quad (2)$$

式中: F 表示水质状态与水质级别函数; $E(t)$ 为某时刻水质状态^[9]; E_p 为各因子预警状态对应的水质级别; a 为水质状态保证率, a 的取值及含义如表 3 所示。保证率是指水质因子的单级预警级别能够达到的最小值。

表 3 多因子水质状态保证率

Table 3. Multiple factor water quality condition rate

%

预警级别 E_p Early warning level	水质状态 Water condition				
	理想 Ideal	良好 Good	一般 General	较差 Poor	恶劣 Bad
1	85	-	-	-	-
2	10	80	80	50	40
3	5	15	-	-	-
4	0	5	15	30	60
5	0	0	5	20	-

由表 3 可见, 当因子的评价值 85% 在一级状态, 10% 在二级状态, 5% 在三级状态, 而未出现四级、五级时, 认为其预警级别是理想状态; 当因子的评价值 80% 在二级状态, 15% 在三级状态, 5% 在四级状态, 而未出现五级状态时, 认为其预警级别是良好状态; 当因子的评价值 80% 在二级状态, 15% 在四级状态, 5% 在五级状态时, 认为其预警级别是一般状态; 当因子的评价值 50% 在二级状态, 30% 在四级状态, 20% 在五级状态时, 认为其预警级别是较差状态; 当因子的评价值 40% 在二级状态, 60% 在四级状态, 认为其预警级别是恶劣状态。当水质预警状态达到一般时, 做出预报, 提示已经有一些指标超出鱼类耐受范围, 应注意观察, 采取行动, 尽快使水质变好; 当水质预警状

态达到较差时, 做出警报, 提示已经有 50% 的指标值超出鱼类生理耐受范围, 必须及时改善水质; 当水质预警状态达到恶劣时, 做出一级警报, 强令执行水质改善工作。

2.2.2 模型验证

多因子状态预警就是将单因子状态预警所得的警级情况与表 3 中对比, 在此不进行实例验证。

2.3 趋势预警模型

2.3.1 趋势预警模型建立

针对预警的滞后性、集中性、动态性和深刻性, 建立了池塘水质的趋势预警模型, 趋势预警模型表达式根据水质模糊综合评价中的隶属度及相应的水质级别确定^[8], 具体公式如下:

$$R = \begin{cases} \frac{U(T) - U(t)}{\Delta t} & U(T), U(t) \in C_i \quad i = 1, 2, \dots, 5 \\ \frac{U(T) - U(t) + j - i}{\Delta t} & U(T) \in C_i, U(t) \in C_j \quad i, j = 1, 2, \dots, 5, \text{ 且 } i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

式中: R 为水质变化速率^[8]; $U(t)$ 为已知某个时刻的水质级别的最大隶属度; $U(T)$ 为未来某一时刻的水质级别的最大隶属度, 用模糊综合评价法求得; Δt 为从现在某一时刻到未来某一时刻

的天数。 i 表示第 1 次监测结果的级别, j 表示第 2 次监测结果的级别。

表 4 为水质变化速率与预警级别之间的关系, 通过计算水质变化速率来获得相应的水质预

警级别, 根据预警级别及其备注, 可判断水质的变化趋势, 进而给水质预控提供依据。

表 4 水质变化速率与预警级别的关系

Table 4. Water quality change velocity and early warning rank

速率 R Rate	预警级别 Early warning level	备注 Note
$R < 0$	好转趋势	
$0 < R \leq 0.1$	稳定趋势	水质有轻微变动或不变
$0.1 < R \leq 0.2$	轻度恶化趋势	
$0.2 < R \leq 0.3$	中度恶化趋势	
$0.3 < R \leq 0.4$	重度恶化趋势	
$R > 0.4$	突变	水质突然大幅度变化

2.3.2 趋势预警模型实例 由实际监测数据(表 2)和评价得到的隶属度^[17], 求得等级隶属度(u), 计算方法参照文献[17], 对 1 组和 2 组的监测数据进行趋势预警。隶属度计算结果如下:

池号:	1	2	3	4	等级
$u_{(1组)}$	0.032	0.242	0.123	0.024	1
	0.247	0.415	0.335	0.359	2
	0.432	0.166	0.105	0.286	3
	0.135	0.079	0.117	0.216	4
	0.154	0.100	0.038	0.116	5
$u_{(2组)}$	0.156	0.260	0.015	0.126	1
	0.230	0.435	0.191	0.111	2
	0.456	0.201	0.580	0.565	3
	0.031	0.048	0.142	0.036	4
	0.128	0.056	0.072	0.162	5

由表 5 可见, 1、2 号池水质基本趋于稳定, 均为良, 有轻微向恶化方向发展的迹象, 要注意其恶化趋势, 尽量改善水质, 令其向好转的趋势发展; 3、4 号池塘水质向轻度恶化和中度恶化趋势发展, 应找出主要因子。由表 2 可见, 3 号池塘水质的 pH 值升高较多, 4 号池塘浮游植物量增幅较大, 根据水质预警的预控对策, 主要因温度较高, 同时伴有水中氮等含量过高, 浮游植物大量繁殖所致。解决办法为换新水或用 0.7 mg/kg 的明矾

表 6 水质参数及评分标准

Table 6. Water quality parameters and score standard

pH	透明度/cm SD	总氮/(mg·L ⁻¹) TN	黎明时的溶解氧/ (mg·L ⁻¹) DO at dawn	浮游植物量/(mg·L ⁻¹) Phytoplankton	分值 Score
7.5 < pH ≤ 8.5	25 < SD ≤ 40	1.5 < TN ≤ 2.5	4.0 < DO ≤ 6.0	35 < FYZ ≤ 60	100
6.5 < pH ≤ 7.5 or 8.5 < pH ≤ 9.0	15 < SD ≤ 25 or 40 < SD ≤ 60	2.5 < TN ≤ 4.0	3.0 < DO ≤ 4.0	20 < FYZ ≤ 35 or 60 < FYZ ≤ 90	80

全池泼洒。

表 5 趋势预警实例

Table 5. Example of tendency early warning

池号 Pond No.	速率 R Rate	预警级别 Early warning level	备注 Note
1	0.080	稳定趋势	水质有轻微变动或不变
2	0.080	稳定趋势	水质有轻微变动或不变
3	0.101	轻度恶化趋势	
4	0.001	轻度恶化趋势	

2.4 鱼类生存指数预警模型

池塘水质与鱼类的生存息息相关, 鱼类生存指数是指池塘的水质指数, 即用能代表池塘水质的几个主要参数的指数值, 综合为 1 个能够大体反应池塘水质状况对鱼类生存影响的指数。鱼类生存指数预警模型如下。

$$FLI = \left[\frac{C_1 \cdot W_1 + C_2 \cdot W_2 + \dots + C_n \cdot W_n}{W_1 + W_2 + \dots + W_n} \right] \cdot M1 \cdot M2 \quad (4)$$

式中: FLI 表示鱼类生存指数; C₁, C₂, ..., C_n 表示各参数的评价分数; W₁, W₂, ..., W_n 表示各参数的加权值; M1 表示温度, 根据经验判断, 若异常(过高或过低), 其值取 0.5, 否则取 1; M2 表示显著污染, 根据经验判断, 若能够目测到大量悬浮物或颜色变化, 则取值 0.5, 否则取 1。

2.4.1 鱼类生存指数预警模型的参数 共选择 5 个理化指标和 2 个经验指标(M1、M2)。理化指标按照评价标准级别, 将 0~100 分分成 5 段, 即水质为优记 100 分(水质最适合鱼类生活), 良记为 80 分, 中记为 60 分, 差记为 40 分, 极差记为 20 分(对鱼类的生存产生威胁)。经验指标, “温度”(M1)是指鱼类的适宜生长的温度范围, 即 10~30℃, 这里的适宜生长范围是指鱼类除维持生命外, 可以继续增加体质量的温度范围。“显著污染”(M2)是指池塘中有大量的油膜、泡沫、浮渣等, 或者有大量的污水注入(表 6)。

续表 6

pH	透明度/ cm SD	总氮/(mg·L ⁻¹) TN	黎明时的溶解氧/ (mg·L ⁻¹) DO at dawn	浮游植物量/(mg·L ⁻¹) Phytoplankton	分值 Score
6.0 < pH ≤ 6.5 or 9.0 < pH ≤ 9.5	11 < SD ≤ 15 or 60 < SD ≤ 80	4.0 < TN ≤ 7.0	2.0 < DO ≤ 3.0	15 < FYZ ≤ 20 or 90 < FYZ ≤ 120	60
5.5 < pH ≤ 6.0 or pH > 9.5	5 < SD ≤ 10 or 80 < SD ≤ 100	7.0 < TN ≤ 10.0	1.0 < DO ≤ 2.0	5 < FYZ ≤ 15 or 120 < FYZ ≤ 150	40
pH ≤ 5.5 or pH > 9.5	0 < SD ≤ 5 or SD > 100	TN > 10	0 < DO ≤ 1.0	0 < FYZ ≤ 5 or FYZ > 150	20

不同的水质因子对水质的影响程度有区别,要确定水质因子对池塘水质影响的重要程度,就要确定水质因子的权重系数,即权值。根据 20 位专家打分,确定各项指标权值如表 7。

表 7 权值的确定

Table 7. Definition of weight value

因素 Index	权值 Weight value
pH	0.21
透明度 SD	0.18
总氮 TN	0.18
黎明时的溶解氧 DO at dawn	0.24
浮游植物量 Phytoplankton	0.19

鱼类生存指数用于评价池塘水质状况,未考虑有毒物质的影响,若有毒物质进入养殖池塘,首先要考虑有毒物质的毒性作用。鱼类生存指数预警法能够反应水质对鱼类的影响,其预警级别如表 8。

表 8 鱼类生存指数预警级别

Table 8. Early warning rank of Pisces survival index

FLI 鱼类生存指数 Fish living index	预警级别描述 Description of early warning level	预警级别 E_p Early warning level
91~100	理想状态	1
71~90	良好状态	2
51~70	一般状态	3
31~50	较差状态	4
< 30	恶劣状态	5

2.4.2 鱼类生存指数预警模型验证 根据 2 组的实测数据,用公式(4)来计算鱼类生存指数(表 9),2 组 3 号池的鱼类生存指数预警。

表 9 鱼类生存指数预警实例

Table 9. Early warning example of Pisces survival index

池塘号 Pond No.	FLI 鱼类生存指数 Fish living index	预警级别描述 Description of early warning level	预警级别 E_p Early warning level
1	83.7	良好状态	2
2	71.6	良好状态	2
3	79.6	良好状态	2
4	82.6	良好状态	2

从鱼类生存指数预警来看,4 个池塘的水质状况均属良好,对鱼类的正常生命活动没有抑制或阻碍作用。但第 2 池的水质状况已经接近一般状态,要注意 2 号池水质的变化,这与监测 2 组池塘的实际情况吻合,在有能力的情况下,尽量改善池水的水质。

3 讨论

本研究的对象是淡水池塘鱼类养殖水质的预警,选择的地区是天津市高产养殖场,对于非淡水养殖和非高密度养殖,在预警指标的选择和指标的标准方面都会有所差别。

状态预警、趋势预警和鱼类生存指数预警方法均能从某一侧面对水质的警级实行预报,但每种方法适用于不同的需求,而单因子状态预警法是所有预警方法的基础,即无论用哪种方法对水体质量进行预警,都要首先考虑单因素的警级,因为后几种预警方法都有掩盖单因素警戒的可能性。后几种预警方法的选择视水质管理的要求而定。

趋势预警法的使用中,如果 2 次监测间隔的时间过长,就会造成 Δt 值增大,进而影响使水质变化速率的值变小,不能反映真实的情况,2 次监测的间隔时间建议 ≤ 15 d。

(下转第 92 页)

参考文献:

[1] 尹礼国, 钟耕, 刘雄, 等. 荞麦营养特性、生理功能和药用价值研究进展[J]. 粮食与油脂, 2002(5): 32-34.
 [2] 刘仁杰, 王月娇, 郭宏伟, 等. 荞麦蛋白复合物对糖尿病小鼠降血糖作用的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(1): 102-104.
 [3] 唐宇, 赵钢. 荞麦中黄酮含量的研究[J]. 四川农业大学学

(上接第83页)

[12] 杨富亿, 李秀军, 王志春, 等. 内陆碳酸盐型盐碱水域移植对虾的可能性试验[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(5), 559-564.
 [13] 卢静, 李德尚, 董双林. 对虾池的放养密度对浮游生物群落的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 240-246.
 [14] 李玉全, 李健, 王清印, 等. 密度胁迫对凡纳滨对虾生长及非特异性免疫因子的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 2091-2096.
 [15] 朱毅菲, 熊传喜, 王良发. 温度、pH 对克氏原螯虾血清酚氧化酶活力及稳定性的影响[J]. 淡水渔业, 2006, 36(5): 16-19.
 [16] Piyatiratitivorakul S, Rengpipat S, Vijakam V, et al. High effr

(上接第88页)

鱼类生存指数预警中的温度和显著污染是 2 个经验值, 因此在使用时, 主观性较强, 在不确定的情况下, 可以使用中间值的方法来处理, 即 M1 和 M2 都选用 0.75。

参考文献:

[1] Loftus R. World watch for domestic animal diversity released by FAO and UNEP provides early warning system[J]. Diversity, 1993, 9(3): 34-36.
 [2] Shand H. Genetic engineering of pyrethrins: early warning for East African pyrethrum farmers[J]. RAFF Communiqué, 1993(7): 3-9.
 [3] Scott M G, Hutchinson T C, Piekarz D. The use of lichen growth abnormalities as an early warning indicator of forest dieback[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1990, 15(3): 213-218.
 [4] 闰慧, 陈杰. 贝类在水污染预警与治理中的作用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 11887-11889.
 [5] 田华, 刘启. 建立环境预警监测体系的探讨[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2008, 18(2): 77-78, 91.
 [6] 汤洁, 卞建民, 林年丰, 等. GIS PModflow 联合系统在松嫩平原西部潜水环境预警中的应用[J]. 2006, 17(4): 483-489.
 [7] 董志颖, 汤洁, 杜崇. 地理信息系统在水质预警中的应用[J]. 水土保持通报, 2002, 22(1): 60-62.

报, 2001, 19(4): 352-354.
 [4] 张美莉, 胡小松. 荞麦生物活性物质及其功能研究进展[J]. 杂粮作物, 2004, 24(1): 26-29.
 [5] 付凯卿, 曾艳萍. 荞麦皮红色素的提取及稳定性研究[J]. 农牧产品开发, 1997(10): 28-29.
 [6] 王光彦, 彭焕芬. 苦荞麦壳色素的提取及性质的研究[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2007, 30(2): 232-234.
 [7] 温广宇, 朱文学. 天然植物色素的提取与开发应用[J]. 河南科技大学学报: 农学版, 2003(2): 68-74.

cient closed recirculating tube system use for *Penaeus monodon* culture [C] // Asian Fisheries Society. 6th Asian fisheries forum book of abstracts. Taiwan: Asian Fisheries Society, 2001: 198.
 [17] Pramod Kiran R B, Rajendran K V, Jung S J, et al. Experimental susceptibility of different life stages of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man), to white spot syndrome virus (WSSV) [J]. Journal of Fish Diseases, 2002, 25: 201-207.
 [18] 张吕平, 胡超群, 沈琪, 等. 从水质特征与病害发生的关系看集约化养殖凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的合理放养密[C] // 中国海洋学会. 中国科学院海洋科学年会论文集. 北京: 中国海洋学会, 2003: 98.

[8] 董志颖, 王娟, 李兵. 水质预警理论初探[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 36-38.
 [9] 洪梅, 赵勇胜, 张博. 地下水水质预警信息系统研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2002, 32(4): 364-368.
 [10] 龚明, 李重荣, 王陶. 汉江水质预警系统研究[J]. 人民长江, 2002, 33(11): 38-42.
 [11] 李秉文, 刘明, 冯明祥. 辽河流域水质预警预报系统的探讨[J]. 东北水利水电, 2000, 18(194): 39-42.
 [12] Meulenberg E, Stoks P. The application of immunochemical methods in monitoring and early warning systems for water quality control[J]. IWSA Specialized Conference on New Developments in Modelling, Monitoring and Control of Water Supply Systems, 1997, 15(2): 91-108.
 [13] Borcherting J, Volpers M. The "Dreissener monitor"-first results on the application of this biological early warning system in the continuous monitoring of water quality[J]. Water Science & Technology, 1993, 29(3): 199-201.
 [14] Balk F, Okkeman P C, Varr-Helmond C A M. Biological early warning systems for surface water and industrial effluents[J]. Water Science & Technology, 1994, 29(3): 211-213.
 [15] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
 [16] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类—系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
 [17] 王瑞梅, 傅泽田, 何有缘, 等. 渔业水域水质模糊综合评价模型研究[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(6): 51-55