

淡水养殖池塘水质评价指标体系研究

刘曼红¹, 于洪贤¹, 刘其根², 王瑞梅^{3*}

(1. 东北林业大学野生动物资源学院, 黑龙江哈尔滨 150040; 2. 上海海洋大学, 农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 200090; 3. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要 [目的]建立淡水养殖池塘水质评价指标体系。[方法]通过专家访谈法、问卷调查法、实地调研法及 DELPHI 法, 在综合分析淡水养殖池塘水质各影响因子的基础上, 对 14 个淡水养殖池塘水质环境因子的重要程度进行了排序, 选择其中 5 个因素作为指标建立了淡水养殖池塘水质评价指标体系, 并确定了各指标的阈值。[结果]淡水养殖池塘水质因子重要程度排序为溶解氧 > pH > 浮游植物量 > 透明度 > 总氮 > 浮游动物量 > 水温 > 生化需氧量 > 水色 > 盐度 > 总硬度; 根据重要程度的大小, 确定溶解氧、pH、透明度、浮游植物量、总氮 5 个指标为池塘水质评价的指标体系。对淡水养殖池塘水质等级进行 5 级划分, 并采用专家问卷方法获得鱼类对各指标的耐受程度范围。[结论]为淡水养殖池塘水质评价提供了理论依据。

关键词 淡水养殖; 水质评价; 指标体系

中图分类号 X52 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2011)24-14569-04

Water Quality Evaluation Index System of Freshwater Aquaculture Pond

LIU Man-hong et al (College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract [Objective] The aim was to establish the water quality evaluation index system of freshwater aquaculture pond. [Method] The expert survey, DELPHI, field research and other methods were used. Based on the analysis of factors influencing water quality of freshwater aquaculture pond, and the importance degree of 14 factors influencing water quality of freshwater aquaculture pond was ordered. Then, five factors were selected as index to establish the water quality evaluation index system of freshwater aquaculture with the determination of thresholds of these factors. [Result] The importance degree of water quality of freshwater aquaculture pond showed an order of dissolved oxygen > pH > phytoplankton quantity > transparency > total Nitrogen > zooplankton quantity > water temperature > biochemical oxygen demand > water color > salinity > total hardness; according to the value of importance degree, the dissolved oxygen, pH, transparency, phytoplankton quantity and total nitrogen these five factors were selected as the index system of water quality evaluation of pond. The level of water quality of freshwater aquaculture pond was divided into five, and the tolerance range of fish to each index was obtained by expert observation. [Conclusion] This study had provided a scientific basis for water quality evaluation system of freshwater aquaculture pond.

Key words Freshwater aquaculture; Water quality assessment; Indexes system

目前关于水质评价方面的研究较多, 且研究方法多元化^[1-4], 但这些研究大多集中在其他功能的用水^[5] (如饮用水) 和自然水域 (如水库、湖泊、河流^[6-7]) 的水质方面, 而关于池塘水质评价方面的研究较少。

淡水养殖池塘水质管理要求在生产过程中能够及时地确定池塘水质状况, 这就要求管理者能够及时地评价淡水养殖池塘的水质, 目的是对淡水养殖池塘水质状况有一个清楚的认识, 为水质管理提供科学依据^[8]。要实现淡水养殖池塘水质评价的目标, 没有完善的、合理、科学的指标体系, 是不可能达到评价目的的。为此, 笔者采用专家问卷调查、德尔斐 (DELPHI) 及实地调研等方法, 建立了淡水养殖池塘水质评价指标体系, 确定了各指标的阈值, 旨在为淡水养殖池塘水质评价提供理论依据。

1 淡水养殖池塘水质评价指标的筛选

淡水养殖池塘水质评价指标体系的建立遵循目的性、整体性、适用性、科学性、可操作性、评价指标可量化原则^[9-10]。淡水养殖池塘水质的影响因素很多, 对于一个评价系统而言, 不能面面俱到地对每一个因素进行评价^[10-12], 为此笔者通过专家问卷调查的方法来确定对池塘水质进行总体评价的指标体系。在专家的指导下选择 14 个因素, 并通过专家对这 14 个因素的重要程度进行排序来获得主要因素。

因素重要性程度系数的确定是综合评判最关键的环节之一。因素模糊子集 A 确定得恰当与否, 直接影响综合评判的结果。因素重要程度的确定方法有德尔斐法、专家调查法和判断矩阵分析法^[13], 该研究选用德尔斐法确定因素的重要程度^[14], 进而确定评价指标体系。

1.1 池塘水质因子 u_i 的重要性序列值的确定 共有 20 名来自天津农学院、天津水产科学研究所和天津市精武集团养殖场的淡水养殖专家参加, 专家凭其经验和见解划定了各因素 u_i 的重要性序列值 F_i 。

其中 $F_i \in \{1, 2, \dots, m\}$ ($m=14$)。最重要的因素, 其 F_i 值为 1; 最次要的因素, 其 F_i 值为 m 。将第 k ($k=1, 2, \dots, 20$) 个专家就因素 u_i 所给定的因素重要性序列值, 记为 F_{i-k} 。研究共利用 14 项因素确定评价指标, 参加评议的专家所提供的 F_i 值的评定见表 1。

1.2 淡水养殖池塘水质各因子优先得分表的获得 按专家们所提供的因素重要性序列值 F_i 进行统计。

当 $\frac{F_{j-k}}{F_{i-k}} \leq 1$ 时, 记 $A_{ij-k} = 1$

当 $\frac{F_{j-k}}{F_{i-k}} > 1$ 时, 记 $A_{ij-k} = 0$

将 20 位评议专家的 A_{ij-k} 值累加起来, 即

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n A_{ij-k} \quad i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, m$$

这样 $m \times m$ 个统计值 A_{ij} 组成了优先得分表 2。

1.3 淡水养殖池塘水质各因子重要程度值 将表 2 中各行的值 A_{ij} 累加起来, 得到

$$\Sigma A_i = \sum_{j=1}^m A_{ij} \quad i=1, 2, \dots, m$$

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 刘曼红 (1973-) 女, 吉林长春人, 讲师, 博士研究生, 研究方向: 水域生态学和大型底栖动物水质监测 E-mail: liumh213@yahoo.com.cn。* 通讯作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事信息管理和资源环境管理研究 E-mail: wangruimei@cau.edu.cn。

收稿日期 2011-05-13

表 1 20 位专家对池塘水质因素重要程度的评定值

Table 1 Assessment of value from experts for factor importance degree of pond water quality

专家号 Expert No.	因素 Factor													
	溶解氧(DO) Dissolved oxygen	pH	浮游植物量 Phytoplankton quantity	浮游动物量 Zooplankton quantity	透明度 Transpa- rency	水色 Water color	载鱼量 Fish quantity	总氮(TN) Total nitrogen	总磷(TP) Total phosphoric	生化需氧 量(BOD) Biochemical oxygen demand	耗氧量 Oxygen consump- tion	水温 Water temper- ature	盐度 Salinity	总硬度 Total hardness
1	3	1	6	8	7	9	11	2	14	10	12	4	5	13
2	1	5	7	6	2	4	10	3	9	8	11	10	12	12
3	5	2	4	1	12	11	10	3	14	7	6	9	8	13
4	2	5	1	4	3	11	10	6	9	8	7	7	12	13
5	7	2	1	6	4	11	10	3	14	12	5	9	8	13
6	1	8	3	4	9	10	12	2	11	5	6	7	11	12
7	4	8	1	9	2	3	6	5	13	7	11	10	14	12
8	1	2	7	8	6	11	14	5	6	9	9	3	4	12
9	3	4	1	2	5	7	6	8	9	10	11	12	13	14
10	1	2	5	6	4	9	12	3	10	7	7	8	10	11
11	1	4	6	6	3	12	11	2	10	7	5	9	8	10
12	1	2	5	6	14	13	7	11	12	3	4	10	9	8
13	2	3	6	5	1	8	7	4	12	12	11	10	9	13
14	1	2	5	6	5	6	7	3	4	7	8	9	10	11
15	1	3	5	7	6	4	14	10	11	8	9	2	12	13
16	6	9	4	5	1	13	14	3	2	8	7	10	11	12
17	2	6	5	7	9	14	1	12	13	4	3	11	8	10
18	3	4	2	2	1	10	10	5	10	9	8	7	6	10
19	1	2	4	6	2	5	11	3	10	7	10	8	9	10
20	1	3	5	6	12	13	14	7	8	10	9	2	4	11

表 2 因素重要程度统计

Table 2 Statistic of factor importance degree

因素 Factor	$\sum A_i$	a_j Importance coefficient
DO Dissolved oxygenoxygen	235	1.004
pH	204	0.866
浮游植物量 Phytoplankton quantity	192	0.812
浮游动物量 Zooplankton quantity	170	0.691
透明度 Transparency	176	0.740
水色 Water color	85	0.333
载鱼量 Fish quantity	64	0.239
TN	175	0.737
TP	66	0.248
BOD	112	0.454
耗氧量 Oxygen consumption	111	0.449
水温 Water temperature temperature	113	0.458
盐度 Salinity	86	0.337
总硬度 Total hardness	33	0.100

式中, $\sum A_i$ 表示第 i 行的 A_{ij} 的累加值。令

$$\sum A_{\max} = \max\{\sum A_1, \sum A_2, \cdots, \sum A_m\}$$
$$\sum A_{\min} = \min\{\sum A_1, \sum A_2, \cdots, \sum A_m\}$$

显然, 与 $\sum A_{\min}$ 相对应的因素的重要程度最高, 而与 $\sum A_{\max}$ 相对应的因素的重要程度最低。由表 2 可知, $\sum A_{\max} = \sum A_1 = 235$, $\sum A_{\min} = \sum A_{14} = 33$, 说明因素溶解氧的重要程度最高, 而因素总硬度最低。

1.4 因子间重要程度级差 d 令 $a_{\max} = 1$, $a_{\min} = 0.1$ (a_{\max} , a_{\min}) 可在 $[0, 1]$ 中任意取定, 则

$$d = \frac{\sum A_{\max} - \sum A_{\min}}{a_{\max} - a_{\min}} = \frac{235 - 33}{1 - 0.1} \approx 223.33$$

1.5 池塘水质各因素重要程度系数 a_i

$$a_i = \frac{\sum A_i - \sum A_{\min}}{d} + 0.1 \quad (i = 1, 2, \cdots, m)$$

得出所要确定因素重要程度模糊子集为:

$$A = (a_1, \mu_2, \cdots, \mu_m)$$

经计算, 所要确定的淡水养殖池塘水质评价因素重要程度模糊子集为:

$A = (1.004, 0.866, 0.812, 0.691, 0.740, 0.333, 0.239, 0.737, 0.248, 0.454, 0.449, 0.458, 0.337, 0.100)$ 根据调查问卷的排序结果, 结合当地专家的建议, 采用重要程度大的 5 个因素作为评价指标, 则选用的评价指标体系为: $u_1, \mu_2, \mu_3, u_5, \mu_8$, 即溶解氧、pH、浮游植物量、透明度和氮。

2 淡水养殖池塘水质评价指标阈值的确定

从淡水养殖池塘水质因子评价指标出发, 评价某淡水养殖池塘水质的优劣, 同时指出产生该水质的主导指标或因子, 从而重点评价该池塘的主要水质问题, 进而给出处理或保持该池塘水质的管理措施, 保证淡水池塘养殖的水体环境。对于淡水养殖池塘, 其主要的功能是生产出优质、高产的渔业产品, 其功能不同于水库、湖泊和河流。根据我国现行的《渔业水质标准》^[15] (GB11607-89) 中, 只对淡水渔业中各指标的上下限作了规定。鉴于鱼类的生理对环境的适应及反应能力, 广泛听取专家的意见, 该研究确定了一种能够很好地反映鱼类生存环境质量的指标阈值的方法。

鱼类对水质影响因子的适应性表现在水质因子的分布上, 对于多数指标而言, 浓度过高和过低都会影响鱼类的生存, 造成鱼类的疾病甚至死亡, 鱼类在生理上对这些指标的适应性和耐受程度是遵循正态分布规律的, 即对一些指标而言, 其值是越小越好或越大越好, 这样可看成是正态分布的左半部分或右半部分。遵照这一原则, 综合专家意见, 该研究对水质质量进行了分级。根据鱼类对监测指标的耐受范围(图 1、2), 将池塘水质分为 5 级: 优, 淡水养殖池塘水质的各指标在鱼类的最佳生存区范围内; 良, 淡水养殖池塘水质

的某些指标接近或达到鱼类最佳生存区的上下限;中,淡水养殖池塘水质的某些指标接近或达到了鱼类生理耐受区的上下限,如果环境继续恶化,鱼类将发生病变或死亡;差,有些指标达到或超过鱼类生理耐受区的上下限,已发现鱼类的不适宜反应,环境如果继续恶化,会有大量鱼死亡;很差,大多数指标超过鱼类生理耐受区的上下限,鱼类生存非常困难。

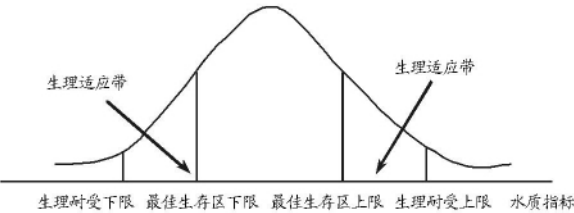


图1 鱼类对水质指标的生理适应性

Fig.1 Physical fitness about fish for water quality indicators

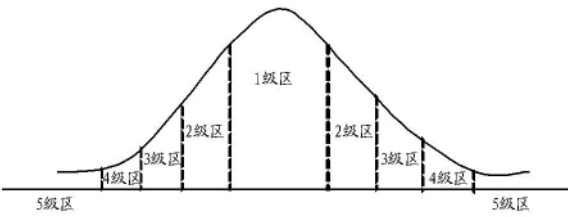


图2 淡水养殖池塘水质等级

Fig.2 Class diagram of water quality in freshwater aquaculture pond

3 淡水养殖池塘水质评价指标的区间划分

3.1 评价数据的分布 将某一因素值的范围按从小到大分成几段,给出不同评价专家数占总专家数的百分数,就可得到一个柱形图。以pH为优的专家调查问卷为例,由图3中左侧柱(即不考虑权重)可知,有2.56%的专家认为pH为6.5~7.0时,池塘水质为优;有10.26%的专家认为pH为7.0~7.5时,池塘水质为优;有43.59%的专家认为pH为7.5~8.0时,池塘水质为优;有41.03%的专家认为pH为8.0~8.5时,池塘水质为优;有2.56%的专家认为pH为8.5~9.0时,池塘水质为优。这仅是专家的数量对pH为优时的选择,再考虑专家的权威程度,对评价标准值进行择优。

3.2 评价标准值择优确定 专家的权威程度是在专家问卷中的专家对该因素对水质的影响的熟悉程度,对每一评价乘以专家的权威系数^[16]。即对选择同一个区段内的专家的权威值相加,然后计算出每一区段内的专家权威值占参加该评价的总权威值的比例。仍以pH为优的调查为例,由图3中右侧柱(即考虑权重)可知,有1.68%的专家认为pH为6.5~7.0时,池塘水质为优;有8.75%的专家认为pH为7.0~7.5时,池塘水质为优;有44.78%的专家认为pH为7.5~8.0时,池塘水质为优;有42.09%的专家认为pH为8.0~8.5时,池塘水质为优;有2.69%的专家认为pH为8.5~9.0时,池塘水质为优。

由此可见,选择7.5~8.0和8.0~8.5的专家比例与加上专家权威值后的比例大体相同,都在40%以上,征求当地专家的意见,将2个区间相加,确定当pH为7.5~8.5时,池塘水质为优。采用同样的方法分别确定池塘水质为良(图

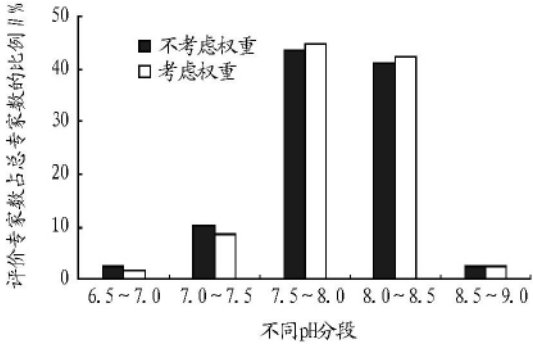


图3 专家对pH为优的评价数据分布

Fig.3 Distribution of data about experts evaluating pH as superior

4)、中(图5)、差(图6)和极差(图7)时的pH范围。

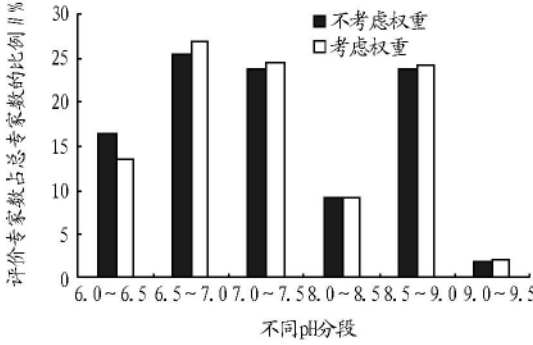


图4 专家对pH为良的评价数据分布

Fig.4 Distribution of data about experts evaluating pH as good

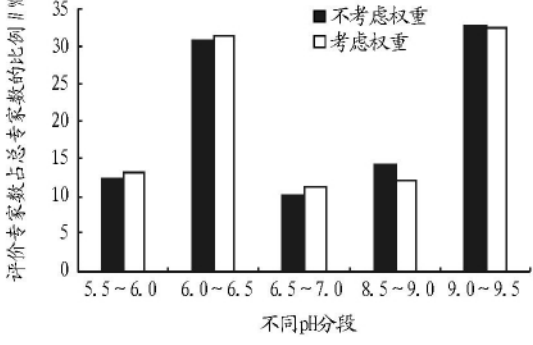


图5 专家对pH为中的评价数据分布

Fig.5 Distribution of data about experts evaluating pH as middle

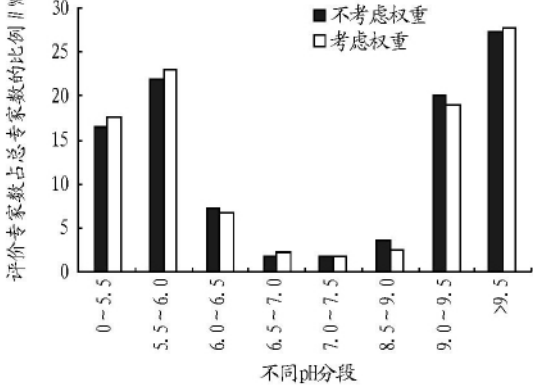


图6 专家对pH为差的评价数据分布

Fig.6 Distribution of data about experts evaluating pH as poor

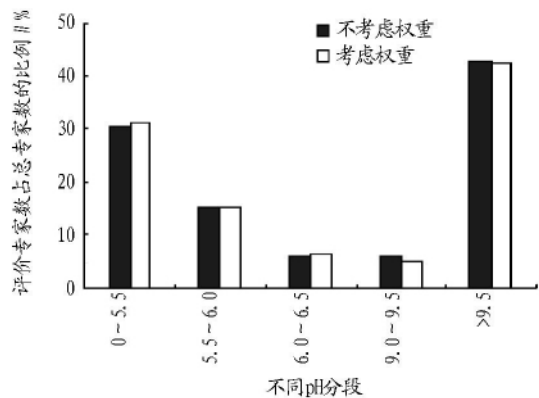


图7 专家对 pH 为极差的评价数据分布

Fig.7 Distribution of data about experts evaluating pH as extremely poor

采用同样的方法来确定溶解氧等其他 4 个指标的各级标准,并征求专家的意见,最后求出各指标的阈值。

3.3 各指标的阈值 最终确定出评价指标的阈值如表 3 所示。

4 结论与讨论

(1) 结合当地专家经验,用专家问卷调查法对淡水养殖池塘水质因子的重要程度进行调查,能够很好地解决由于水质的复杂性和模糊性带来的水质评价指标确定的困难,采用专家问卷调查法进行评价指标体系的筛选,在该指标体系中只考虑鱼类生存,采用德尔斐法对专家问卷进行处理,得出了淡水养殖池塘水质因子重要程度排序为 DO > pH > 浮游植物量 > 透明度 > TN > 浮游动物量 > 水温 > BOD > 水色 > 盐度 > 总硬度。根据重要程度的大小排除了不重要的水质因子,最终确定了 DO、pH、透明度、浮游植物量、TN 5 个指标为

表 3 评价指标处于各等级标准值的范围

Table 3 Range of index in standard value of each level

评价指标 Evaluation index	优 Superior	良 Good	中 Middle	差 Poor	极差 Extremely poor
pH	7.5 < pH ≤ 8.5	6.5 < pH ≤ 7.5 or 8.5 < pH ≤ 9.0	6.0 < pH ≤ 6.5 or 9.0 < pH ≤ 9.5	5.5 < pH ≤ 6.0 or pH > 9.5	pH ≤ 5.5 or pH > 9.5
透明度(SD) Transparent//cm	25 < SD ≤ 40	15 < SD ≤ 25 or 40 < SD ≤ 60	10 < SD ≤ 15 or 60 < SD ≤ 80	5 < SD ≤ 10 or 80 < SD ≤ 100	0 < SD ≤ 5 or SD > 100
TN Total Nitrogen//mg/L	1.5 < TN ≤ 2.5	2.5 < TN ≤ 4.0	4.0 < TN ≤ 7.0	7.0 < TN ≤ 10.0	TN > 10.0
溶解氧(DO) Dissolved oxygen	4 < DO ≤ 6	3 < DO ≤ 4	2 < DO ≤ 3	0 < DO ≤ 2	0 < DO ≤ 2
浮游植物量(FYZ) Phytoplankton quantity//mg/L	35 < FYZ ≤ 60	20 < FYZ ≤ 35 or 60 < FYZ ≤ 90	15 < FYZ ≤ 20 or 90 < FYZ ≤ 120	5 < FYZ ≤ 15 or 120 < FYZ ≤ 150	0 < FYZ ≤ 5 or FYZ > 150

注:据天津专家经验,一般池塘水质的 TN 不会过小,故评价标准只选大的部分,对鱼类耐受范围较小的部分不作评价。

Note: According to the experts from Tianjing, the TN of water quality of general pond will not be too low, so the fish which have small tolerance range is not evaluated.

池塘水质评价的指标体系。

(2) 从鱼类的生理特征出发,根据不同鱼类对每个水质因子的耐受程度,按照不同鱼类对水体环境因子适应的正态或偏态性,对淡水养殖池塘水质等级进行了相应的划分;为研究鱼类对不同水质因子的耐受程度,在缺少相关研究资料的情况下,采用专家问卷方法获得了鱼类对指标的耐受程度范围。

(3) 研究地点为天津地区的淡水鲤鱼池塘养殖,对于其他类型的养殖,该研究方法仍可使用,但相应的指标体系和指标阈值会有所不同。因此,在使用时,根据实际情况要对指标体系的构成及相应的值进行调整。

参考文献

[1] 郭劲松,王红,龙腾锐.水资源水质评价方法分析与进展[J].环境评价,1999,21(6):1-3,9.
[2] 潘峰,付强,梁川.基于层次分析法的模糊综合评价在水环境质量评价中的应用[J].环境工程,2002,20(2):22-24,56.
[3] 郑文瑞,王新代,纪昆,等.非确定数学方法在水污染状况风险评价中的应用[J].吉林大学学报:地球科学版,2003,33(1):59-62.
[4] 张龙江.水质评价的模糊综合评判-加权平均复合模型应用[J].环境工程,2001,19(6):53-55,5-6.
[5] 张松滨,李万海,王凤翔.环境质量评价中的分级贴近度法[J].吉林化工学院学报,1996,13(3):16-19,28.
[6] 黄辉金.概率法评价邕江河段水质的尝试[J].广西水利水电,2001(2):65-68.
[7] 李振光,李光浩,卢炳野.水质 Fuzzy 贴近度评价法的理论与模型[J].环境工程,1995,13(2):53-56.
[8] 周宝同.土地资源可持续利用评价研究[D].重庆:西南农业大学,

2001.
[9] 施式亮.矿井安全非线性动力学评价模型及应用研究[D].福建:中南大学,2000.
[10] 翟国静.灰色关联分析在水质评价中的应用[J].水电能源科学,1996,14(3):183-187.
[11] 刘智森.关于地表水质指数计算方法的探讨[J].人民珠江,2001(6):56-58.
[12] 徐建平.WPI 指数在地表水质评价中的运用[J].中国环境监测,2001,17(1):47-49.
[13] 张跃,邵寿平,宿芬.模糊数学方法及其应用[M].北京:煤炭工业出版社,1992.
[14] 刘普寅,吴孟达.模糊理论及其应用[M].长沙:国防科技大学出版社,1998.
[15] 渔业水质标准修订组.中华人民共和国渔业水质标准,GB1160-89[S/OL].http://www.xjepb.gov.cn/law_hbbz_bz9.htm
[16] CHEN YONGSEN. Environmental Evaluation [M]. Second edition. Shanghai: Tongji University Press, 1999.
[17] 李海洋,程云生.大宗淡水鱼的生物学特性及养殖水环境的调控[J].畜牧与饲料科学,2010,31(3):66-67.
[18] YAN S C, LI Y R, HAN X D et al. Availability test of the free phospholipids in the plasma of three species of freshwater fish [J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(2):121-123,172.
[19] 李海洋,张辉,郝辉.大宗淡水鱼的亲鱼培育技术[J].畜牧与饲料科学,2010,31(3):75-76.
[20] ZOU W S, ZHANG J L, LIU L G et al. Effect research of immobilized algae-bacteria removal ammonia nitrogen of aquaculture wastewater and proposed model [J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(5):117-120.
[21] 李海洋,程云生.大宗淡水鱼类疫病预防综合措施[J].畜牧与饲料科学,2010,31(4):90-91.