

文章编号: 1000- 0615(2004) 03- 0273- 06

## 水生态因子与鳊的健康关系

赖子尼<sup>1</sup>, 余煜棉<sup>2</sup>, 庞世勋<sup>1</sup>, 万俊杰<sup>2</sup>, 杨婉玲<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所 广东 广州 510380;

2. 广东工业大学实验研究中心, 广东 广州 510090)

**摘要:**应用计算机技术系统研究鳊健康综合指标与 6 项水生态因子间的关系。实验自 2001 年 7 至 10 月底, 面积 4.72hm<sup>2</sup>(16 口)。采样时间为上午 8:00- 9:00, 每两周 1 次。水生态因子检测依 GB11607- 89 及 GB3838- 88 要求进行。结果表明, 在正常养殖条件下, 6 项水生态因子中鱼塘的水温、水体 pH 值的变化不大, 而溶解氧、铵氮、磷酸盐以及亚硝酸盐等四项水生态因子变化较大, 文中求出 6 项水生态因子间的线性相关系数, 为水生态因子的调控提供依据和帮助。研究结果表明, 鳊健康指标与 6 项水生态因子间的关系模型是非线性, 如果采用因素幂为 3 次的模型, 回判准确率达 89.6%, 剩余标准差为 12.1, 6 项水生态因子对鳊健康指标影响程度排序为 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> > NO<sub>2</sub><sup>-</sup> > pH > DO > T > NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。文中讨论了不同健康指标分段模型判别准确率, 并通过该模型求出鳊健康养殖各水生态因子的最佳范围。

**关键词:** 鳊; 水生态因子; 健康; 计算机技术

**中图分类号:** S965      **文献标识码:** A

## Study on the relations between aquatic ecofactors and health of *Siniperca chuatsi*

LAI Zi-ni<sup>1</sup>, YU Yu-mian<sup>2</sup>, PANG Shi-xun<sup>1</sup>, WAN Jun-jie<sup>2</sup>, YANG Wan-ling<sup>1</sup>

(1. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Guangzhou 510380, China;

2. Experiment Center of Guangdong Industry University, Guangzhou 510090, China)

**Abstract:** The article systemically studied the relations between healthy synthetical index of *Siniperca chuatsi* and six aquatic ecofactors by computer technology. The experiment was conducted from July to October at Guangdong Province in 2001. The total test area is 4.72hm<sup>2</sup> composed of 16 fish ponds. The samples were collected every two weeks at 8:00- 9:00am during the experiment. The aquatic ecofactors were determined according to GB11607- 89 and GB3838- 88. Results show that the varied ranges of water temperature and pH are narrow, whereas those of other four aquatic ecofactors about dissolved oxygen, total ammonium, phosphate and nitrite are wide under natural breed conditions. The correlation coefficient of six aquatic ecofactors will help aquatic ecofactors to keep under control. Research suggests that *Siniperca chuatsi* healthy synthetical indexes have nonlinear relations with six aquatic ecofactors. Accuracy rate of forecast on the basis of the pattern was 89.6% and standard deviation of fitting was 12.1 if the third power of factors was adopted. Influence of six aquatic ecofactors on *Siniperca chuatsi* health index

收稿日期: 2003-01-28

资助项目: “十五”国家科技攻关计划课题(2001BA505B03)及广东省海洋与渔业局项目

作者简介: 赖子尼(1964-), 女, 广东兴宁人, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事渔业生态环境学科研究。Tel: 020- 81616887, E-mail: laini

@tom.com

in sequence is  $\text{PO}_4^{3-} > \text{NO}_2^- > \text{pH} > \text{DO} > \text{T} > \text{NH}_4^+$ . The article discussed the accuracy rate of forecast of various range, and optimal range of aquatic ecofactors in culture was obtained on the pattern.

**Key words:** *Siniperca chuatsi*; aquatic ecofactor; health; computer technology

20 世纪 80 年代鳊人工繁殖获得成功,但伴随着高密度养殖而产生的各种疾病又制约了鳊养殖业的发展。滥用药物不仅对控制病害成效不大,而且带来鱼体药物残留、环境污染等一系列问题。从目前国际重视环境保护、食品卫生安全的发展趋势来看,鳊养殖的技术关键应该突出生态养殖,这将是保障养殖业可持续发展的重要途径。而弄清池塘水生态因子对鳊健康的影响是调控生态系统达到并维持着理想状态的基础,也是养殖水域生态环境改良与修复的依据。池塘生态系统是一个复杂的、多因素的、非典型分布的动态系统<sup>[1-3]</sup>,用传统的单因子统计法难以有效地解决池塘养殖研究中出现的问题。因此,需要运用研究多因子问题的方法。作者曾用计算机模式识别法研究池塘水体生态因子<sup>[1]</sup>,也有的用灰色理论评估产量<sup>[4]</sup>或人工神经网络评价水环境质量<sup>[5,6]</sup>。通过分析高密度鳊养殖塘的各水生态因子,运用数学模型的方法<sup>[7]</sup>,研究了鳊健康综合指标(简称健康指标),即  $Y$ (因变量)与养殖水体 6 项水生态指标(自变量)——水温( $X_1$ )、pH 值( $X_2$ )、铵氮( $X_3$ )、溶氧( $X_4$ )、磷酸盐( $X_5$ )和亚硝酸盐( $X_6$ )间的关系,并求出最佳的鳊健康预报模型,探讨调控水生态指标的可能途径及最佳的养殖条件,建立的水生态因子 3 次幂模型,对鳊的健康指标判别准确率为 89.6%。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验池塘情况

试验时间从 2001 年 7 月至 10 月底,即鳊苗种至成鱼整个养殖周期,在广东省南海市、新会市荷塘选取 16 口配有增氧机的鳊养殖塘为试验塘,总面积  $4.72\text{hm}^2$ ,水深 1.0~2.0m;养殖模式为半封闭式(通常情况下不换水),放养密度约  $3 \times 10^4 \text{ind} \cdot \text{hm}^{-1}$ ,饵料鱼为露斯塔野鲮;用有机玻璃采水器每两周采样 1 次,时间为上午 8:00-9:00。

### 1.2 水生态因子检测

水温、pH、溶氧量、铵氮、磷酸盐磷和亚硝酸盐氮的检测依据 GB11607-89 及 GB3838-88。

### 1.3 鳊健康指标的评定

鱼体健康常规检查与水样采集同时进行<sup>[8]</sup>。

以健康鳊 100 分为基准,对患有细菌性出血、烂鳃、肠炎、车轮虫、病毒病等疾病的鳊依病情从轻到重分为 5 级,分别扣除 3、6、9、12、15 分,最终得分即鳊健康指标值。

## 2 数据处理与结果讨论

### 2.1 各项指标的统计结果

表 1 列出 16 口塘共 89 组 6 项水生态因子的检测数据统计结果。其中,温度、pH、溶解氧 3 种因子中的中位数和平均值十分近似,表明这 3 种指标的数据近似正态分布,而余下的总铵氮等 3 个因子平均值和中位数则差异较大,表明这 3 个因子的数据不能很好满足正态分布;从全距和数据的标准偏差来看,温度和 pH 值的全距和标准偏差均不大,而其余 4 项水生态因子的全距变化幅度较大,相对标准偏差从 30.2%~98.6%,可调节的范围较宽;而健康指标的全距变化幅度也达 2.5 倍,最低只有 40 分,最高为 100 分,这表明在某一时期、某些池塘中鳊健康欠佳,总体健康状况则(平均健康指标 90 分)良好。从表 2 的健康指标百分位数分布值可知,10% 的试验塘次健康指标低于 70 分,鳊处于不良的健康状态;75% 以上的塘次鳊处在良好的状态,健康指标高于 80 分,50% 以上的塘次鳊处在优良的健康状态,健康指标为 95 分。

### 2.2 水生态因子与健康指标的相关系数矩阵

表 3 是 7 项指标间的线性相关的相关系数矩阵。6 项水生态因子间的 15 个相关系数  $r$  中,呈显著正相关或负相关的有 6 个,这表明在鳊养殖的水生态调控中,可以通过某些生态因子升降来调控与其明显线性相关的因子,预测某些因子变化的效应。如要降低亚硝酸盐浓度,可采取适当提高 pH 值(这两因子呈显著负相关);而增加磷酸盐浓度,将带来水体中总铵氮的增加(这两因子呈显著正相关)。另外,表 3 还提供健康指标与 6 项生态因子的相关系数值。在这 6 个相关系数中,健康指标与水温、pH 值、磷酸盐浓度呈显著线性相关,与其余 3 个因子不呈线性相关。可以预计,鳊健康与 6 项水生态因子间的总体动态关系呈非线性模型。

表 1 各项指标的统计结果

Tab. 1 The statistic result of all the indexes

指标 index	温度(℃) temperature	pH	溶氧 DO	铵氮 ammonium	磷酸盐 phosphate	亚硝酸盐 nitrite	健康指数值 health index
全距 range	25~ 31.5	7.2~ 8.1	0.6~ 7.6	0~ 8.01	0~ 0.178	0~ 1.45	40~ 100
中位数 middle-digit	29.0	7.68	4.35	0.98	0.035	0.228	95
平均值 average value	28.9	7.7	4.37	1.46	0.048	0.292	89.6
标准偏差 standard wap	1.9	0.20	1.67	1.44	0.043	0.279	13.7
相对标准偏差 relative standard wap	6.6%	0.20%	30.2%	98.6%	89.6%	95.5%	15.3%

注: 浓度单位为  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  Notes: concentration unit:  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

表 2 89 次检测中鳊健康指标的百分位数分布

Tab. 2 The centesimal digit distribution of healthy synthetical index of *S. chuatsi* in 89 detections

百分位数 per-digit	P <sub>2.5</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>	P <sub>95</sub>	P <sub>97.5</sub>	平均值 average value
健康指标值 health index	47.5	60	70	80	95	100	100	100	100	89.6

表 3 各因子的线性相关系数矩阵

Tab. 3 Linearity related coefficient matrix of every factor

	温度( $X_1$ ) temperature	pH( $X_2$ )	溶氧( $X_3$ ) dissolved oxygen	铵氮( $X_4$ ) ammonium	磷酸盐( $X_5$ ) phosphate	亚硝酸盐( $X_6$ ) nitrite	健康指标( $Y$ ) health index
$X_1$	1.000	- 0.642*	- 0.110	- 0.052	0.157	0.332*	- 0.308*
$X_2$		1.000	- 0.004	0.026	- 0.131	- 0.375*	0.270*
$X_3$			1.000	- 0.241*	- 0.019	- 0.082	- 0.077
$X_4$				1.000	0.389*	0.113	0.161
$X_5$					1.000	0.185	0.215*
$X_6$						1.000	0.055
$Y$							1.000

注:  $\gamma_{0.05} = 0.209$ ,  $\gamma_{0.01} = 0.270$ , \* 满足 95% 置信度 Notes:  $\gamma_{0.05} = 0.209$ ,  $\gamma_{0.01} = 0.270$ , \* satisfy 95% confidence

### 2.3 健康指标与水生态指标关系的数学模型

软件系统及原始数据矩阵 根据多元线性拟合理论, 运用 Visual Basic 6.0 语言编写应用程序, 开发以 Windows 操作系统支持的“数学模型建立”的软件系统, 只要将原始数据矩阵以文件形式输入, 便可按软件系统的提示较快地求出相关的评估

参数, 及变量间的数学模型。

以 16 口实验塘, 89 次检测记录的 6 项生态指标和健康指标构成 (89 × 7) 了原始数据矩阵。

多种模型及其讨论 5 种模型的函数形式分别为:

- $Y = 6.69 - 1.89X_1 + 17.9X_2 + 1.79X_3 + 0.38X_4 + 76.40X_5 + 13.7X_6;$
- $Y = -3713.53 + 2.30X_1 - 0.08X_1^2 + 978.31X_2 - 62.86X_2^2 - 0.70X_3 - 0.10X_3^2 + 1.83X_4 - 0.19X_4^2 + 170.65X_5 - 525.84X_5^2 - 9.34X_6 + 19.26X_6^2;$
- $Y = 59006.12 + 439.92X_1 - 15.79X_1^2 + 0.19X_1^3 - 25285.44X_2 + 3379.30X_2^2 - 150.29X_2^3 - 9.80X_3 + 2.59X_3^2 - 0.22X_3^3 - 1.62X_4 + 1.37X_4^2 - 0.14X_4^3 + 387.0X_5 - 4346.8X_5^2 + 1672.1X_5^3 - 42.60X_6 + 87.23X_6^2 - 33.96X_6^3;$
- $Y = 1.35 \times 10^5 + 2.50 \times 10^4 X_1 - 1.32 \times 10^3 X_1^2 + 30.9X_1^3 - 0.271X_1^4 - 1.57 \times 10^5 X_2 + 2.94 \times 10^4 X_2^2 - 2.43 \times 10^3 X_2^3 + 75.1X_2^4 + 12.0X_3 - 7.00X_3^2 + 1.44X_3^3 - 9.92 \times 10^{-2} X_3^4 - 8.66X_4 + 6.31X_4^2 - 1.28X_4^3 + 8.03 \times 10^{-2} X_4^4 + 122X_5 + 2.08 \times 10^3 X_5^2 - 3.92 \times 10^4 X_5^3 + 1.54 \times 10^5 X_5^4 - 29.0X_6 + 51.7X_6^2 - 4.15X_6^3 - 7.09X_6^4;$
- $Y = 7.46 \times 10^7 - 2.53 \times 10^6 X_1 + 1.78 \times 10^5 X_1^2 - 6.27 \times 10^3 X_1^3 + 110X_1^4 - 0.773X_1^5 - 3.94 \times 10^7 X_2 + 1.03 \times$

$$10^7 X_2^2 - 1.35 \times 10^6 X_2^3 + 8.83 \times 10^4 X_2^4 - 2.31 \times 10^3 X_2^5 - 48.4 X_3 + 37.4 X_3^2 - 12.8 X_3^3 + 1.93 X_3^4 - 0.105 X_3^5 - 12.8 X_4 + 11.1 X_4^2 - 3.25 X_4^3 + 0.363 X_4^4 - 1.34 \times 10^{-2} X_4^5 - 169 X_5 + 1.90 \times 10^4 X_5^2 - 2.50 \times 10^5 X_5^3 + 2.46 \times 10^6 X_5^4 - 5.93 \times 10^6 X_5^5 + 41.2 X_6 - 405 X_6^2 + 1.13 \times 10^3 X_6^3 - 1.07 \times 10^3 X_6^4 + 400 X_6^5$$

表 4 是应用软件系统求出健康指标( Y )与 6 项水生态指标( X<sub>1</sub>~ X<sub>6</sub> )间的 5 种模型的部分相关参数。由表可知,随着自变量的幂指数增高,模型的判别准确率上升,其模型的 F 检验值显著性提高,反映模型预报误差的残差平方和( Q )值降低。理论上 X<sub>i</sub> 采用 X<sub>i</sub><sup>5</sup> 的模型预报判别准确率为 91.4%,比 X<sub>i</sub> 采用 X<sub>i</sub><sup>1</sup> 的 88.1% 要高一些。似乎应采用模型 5 作为鳃健康养殖的预报系统。但实际上,当 X<sub>i</sub> 采用 X<sub>i</sub><sup>5</sup> 的高幂次,如果 X<sub>i</sub> 测量误差稍大,便会对健康指标( Y )有较大影响,使 Y 值变化

较大。所以选用二次幂或三次幂模型(即模型 2 或模型 3)为理想。本文采用模型 3 作预报模型,准确度为 89.6%, 剩余标准差 σ = 12.1。

各水生态因子对健康指标影响的大小 表 5 是模型各项对健康指标( Y )的偏回归平方和( V<sub>i</sub> )的统计结果,它的数值越大,表明该项对 Y 的贡献越大。综合考虑各水生态因子的不同幂次单项值及其平均值的 V<sub>i</sub> 值,得出 6 项水生态因子对 Y 影响排序为:磷酸盐 > 亚硝酸盐 > pH 值 > 溶氧 > 温度 > 铵氮。

表 4 5 种模型的相关参数

Tab. 4 The related parameters of five specific models

模型 model	F <sub>计</sub>	F <sub>临界值(0.05)</sub>	模型准确率% model nicety rate	残差平方和 Q square sum of residual difference	剩余标准差 σ standard residual difference
模型 1 model 1	4.28	2.21	88.1	12571	12.35
模型 2 model 2	3.05	1.90	88.9	11089	12.08
模型 3 model 3	2.35	1.75	89.6	10239	12.08
模型 4 model 4	1.89		89.9	9610	12.00
模型 5 model 5	2.37		91.4	7386	11.28

Notes:  $a.m. = \sum_{i=1}^n (y_{\text{试验值}} - y_{\text{拟和值 } i})^2$ ,  $\sigma = \sqrt{\frac{a.m.}{n - m - 1}}$

表 5 各水生态指标的偏回归平方和 V<sub>i</sub> 值

Tab. 5 The value of the square sum of the defective regression of all the aqueous ecosystem indexes ( V<sub>i</sub> )

指标 index	温度( X <sub>1</sub> ) temperature			pH( X <sub>2</sub> )			溶氧( X <sub>3</sub> ) dissolved oxygen		
	X <sub>1</sub> <sup>1</sup>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> <sup>3</sup>	X <sub>2</sub> <sup>1</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>3</sup>	X <sub>3</sub> <sup>1</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>3</sup>
V <sub>i</sub>	79.17	81.03	82.09	243.62	253.46	263.11	85.92	89.24	98.32
指标 index	铵氮( X <sub>4</sub> ) total ammonium			磷酸盐( X <sub>5</sub> ) phosphate			亚硝酸盐( X <sub>6</sub> ) nitrite		
	X <sub>4</sub> <sup>1</sup>	X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	X <sub>4</sub> <sup>3</sup>	X <sub>5</sub> <sup>1</sup>	X <sub>5</sub> <sup>2</sup>	X <sub>5</sub> <sup>3</sup>	X <sub>6</sub> <sup>1</sup>	X <sub>6</sub> <sup>2</sup>	X <sub>6</sub> <sup>3</sup>
V <sub>i</sub>	12.65	68.48	82.70	54.61	512.74	260.14	198.85	323.91	347.85

最佳水生态因子的调控值 图 1~ 图 6 是各水生态因子对 Y 影响的关系曲线(图中纵坐标只有相对意义,因为它没有反映 Y 与其余 5 项因子的关系,其变化值表示各因子对鳃健康贡献的大小)。严格地说,它们均呈非线性关系,当然在某一范围内, Y 与某些生态因子可看成线性关系。

图 1 可以看出,水温 25℃ 时,鳃健康较好,而 30℃ 是鳃健康的低谷点; pH 值在 7.5~ 8.0 范围鳃健康较好,此后随 pH 值上升急剧下降;溶氧在 3~

5 mg·L<sup>-1</sup> 左右鳃健康最佳(低于 2 mg·L<sup>-1</sup> 样品数较少,预测效果不佳),大于 6 mg·L<sup>-1</sup> 时,鳃健康随溶氧升高而下降,可能与水体富营养化有关;图 4 纵坐标变幅不大,表明总铵氮对鳃的健康影响不显著,5mg·L<sup>-1</sup> 是鳃维持健康的极大值(总铵氮对鱼类的健康影响与水温、pH 有关);磷酸盐不应低于 0.07mg·L<sup>-1</sup>,但由于磷酸盐与铵氮显著正相关,所以也不能太高;亚硝酸盐的极限值为 1.2 mg·L<sup>-1</sup>。

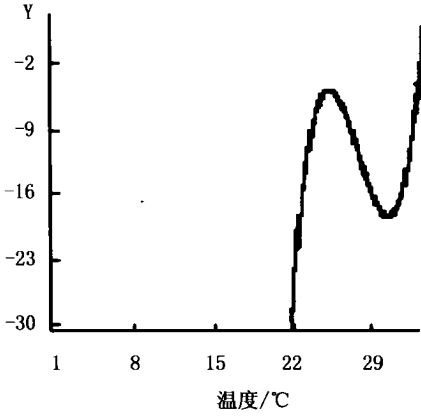


图 1 温度对 Y 影响的关系曲线

Fig.1 The relationship curve between temperature and Y

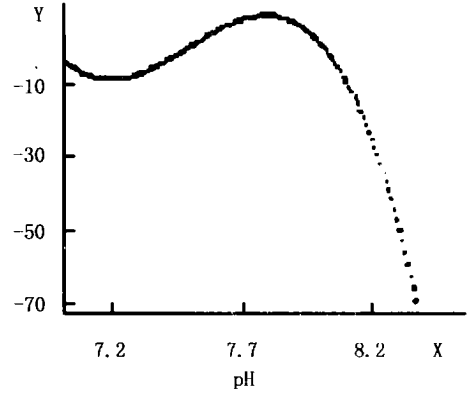


图 2 pH 对 Y 影响的关系曲线

Fig.2 The relationship curve between pH and Y

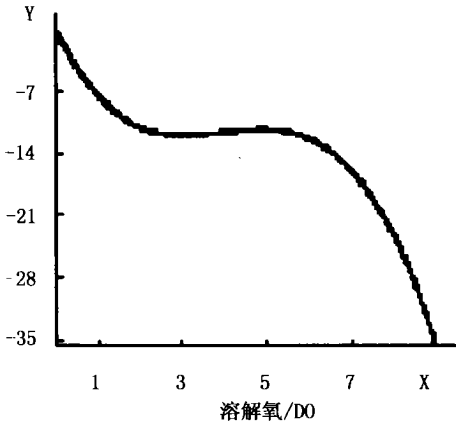


图 3 溶氧对 Y 影响的关系曲线

Fig.3 The relationship curve between dissolved oxygen and Y

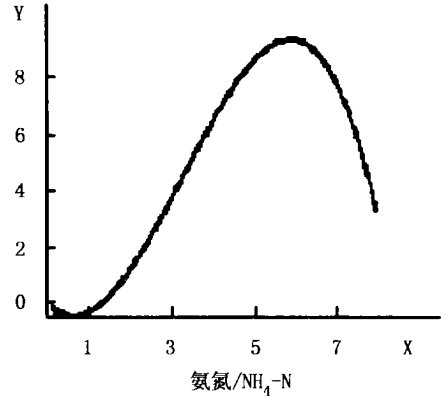


图 4 铵氮对 Y 影响的关系曲线

Fig.4 The relationship curve between  $\text{NH}_4 - \text{N}$  and Y

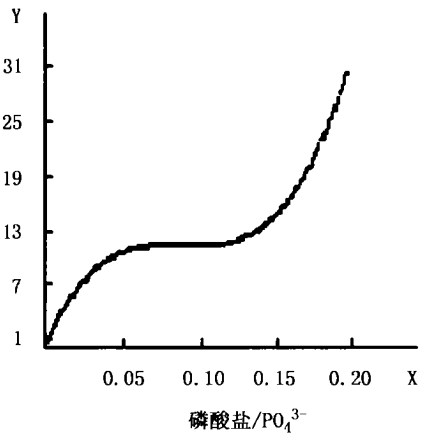


图 5 磷酸盐对 Y 影响的关系曲线

Fig.5 The relationship curve between phosphate and Y

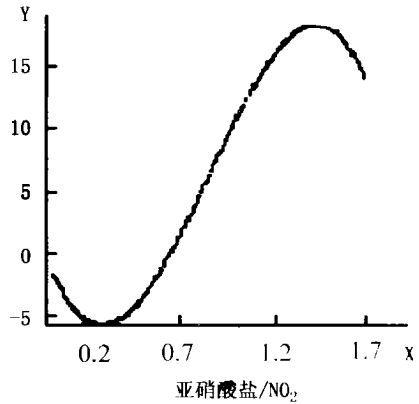


图 6 亚硝酸盐对 Y 影响的关系曲线

Fig.6 The relationship curve between nitrite and Y

模型预报准确度讨论 为说明模型预报的准确程度, 本文统计了不同健康指标分段模型判别准确率(表6)。可见, 对于Y值大于80分的回判准确率达92.55%以上, 是较理想的模型, 对健康指

标低的样本则判别率较低, 这可能是表征鳃疾病相关的水生态因子数还不够, 模型中未能较好反映这方面的信息。今后增加若干个对鳃疾病有较大影响的水生态因子, 希望可以解决本模型的不足。

表6 三次幂模型的分段准确率  
Tab.6 The divided range accuracy rate of thrice power model

健康指标分段 health index subsection	≤60	60< ~ ≤70	70< ~ ≤80	80< ~ ≤90	> 90
检测数 no. of detected	5	5	14	16	49
平均准确率(%) average nicety rate	48.78	78.77	92.00	92.55	93.18

参考文献:

[1] Lai Z N, Wu S Q, Shi C B, et al. Application of the ecosystem factors in pondwaters for *Siniperca chuatsi* by computer pattern recognition[J]. J Fish China, 2000, 24(2):146- 150. [赖子尼, 吴淑勤, 石存斌, 等. 鳃塘水体生态因子的计算机模式识别法应用[J]. 水产学报, 2000, 24(2): 146- 150.]

[2] Lai Z N, Shi C B, Wu S Q, et al. Daily variation and correlation of physicochemical factors in *Siniperca chuatsi* ponds[J]. J Dalian Fish Univ, 2001, 16(1): 61- 66. [赖子尼, 石存斌, 吴淑勤, 等. 鳃塘水体理化因子昼夜变化及相关性研究[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(1): 61- 66.]

[3] Xu N, Li D S, Dong S L, et al. Diel balance of DO in mariculture ponds[J]. J Fish Sci China, 1999, 6(1): 69- 74. [徐宁, 李德尚, 董双林, 等. 海水养殖池塘溶氧平衡的实验研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(1): 69- 74.]

[4] Xue J, Huang Z H, Xiao X Z, et al. Study on the relationships among polyculture fishes high-yield fish pond[J]. J Fish China, 1998, 22(2):106- 110. [谢骏, 黄樟翰, 肖学铮, 等. 高产池塘混养鱼类关系的研究[J]. 水产学报, 1998, 22(2): 106- 110.]

[5] Pion P, Mullon C, Pichon G. Experimental interactive software for choosing and fitting surplus production models including environmental variables[R]. Rome: FAO Computerized Information Series Fisheries, 1993, 5: 1- 76.

[6] Maier H R, Dandy G C. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications[J]. Environmental Modelling and Software, 1999, 15(1): 101- 123.

[7] Yuan Z F, Zhou J Y. Design and analysis of experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. 143- 203 [袁志发, 周静芋. 试验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 143- 203.]

[8] Wu S Q, Li X H, Pan H J, et al. Research on the pathogen of the outbreak infective disease of *Siniperca chuatsi* [J]. J Fish China, 1997, 21(suppl): 56- 60. [吴淑勤, 李新辉, 潘厚军, 等. 鳃鱼爆发性传染病病原研究[J]. 水产学报, 1997, 21(增刊): 56- 60]