

# 舟山渔场渔业资源可持续利用水平的 灰色评价与预测\*

倪海儿<sup>1,2</sup> 周瑞娟<sup>1</sup>

(1. 宁波大学生命科学与生物工程学院 宁波 315211; 2. “应用海洋生物技术”教育部  
重点实验室 宁波 315211)

**提要** 采用灰色系统理论对渔业资源可持续利用水平的评价和预测方法进行了探讨,建立了渔业资源可持续利用水平的灰色聚类评价模型和灰色 BP(误差反向传播)神经网络预测模型。在此基础上,根据舟山市 1954—2005 年有关渔业资源环境、经济和社会状况的指标,对舟山渔场渔业资源可持续利用水平进行了评价与预测,阐述了舟山渔场渔业资源可持续利用水平的变化过程。对舟山渔场渔业资源可持续利用水平的预测结果表明,由灰色 BP 神经网络预测模型预测的平均相对误差为 1.88%。

**关键词** 渔业资源, 可持续利用, 评价, 预测  
**中图分类号** S937.3

渔业资源可持续利用是渔业可持续发展的基础,掌握渔业资源可持续利用的现状及其发展趋势,有利于及时发现渔业发展中存在的问题,从而调整策略,促使渔业资源朝着有利于可持续利用的方向发展。国内外对渔业资源可持续利用的评价已进行了一些研究,如 Garcia 等(2000)对渔业资源可持续利用的指标体系及其评价进行了研究,陈新军等(2002a, b; 2003a, b)、倪海儿等(2003)分别对东海区和舟山渔场渔业资源可持续利用水平进行了评价,但对渔业资源可持续利用的预测却少有报道。本文用灰色系统理论对渔业资源可持续利用水平的评价和预测方法进行了探索,在对舟山渔场渔业资源可持续利用水平进行评价的基础上,给出了渔业资源可持续利用水平的预测,以期制定舟山市渔业可持续发展策略提供理论依据,同时也为渔业资源可持续利用的评价及其预测提供方法。

## 1 材料与方 法

### 1.1 评价指标体系的构建

渔业资源系统是一个复合系统,它涉及自然、社

会、经济和环境等多方面的因素。渔业资源的质量和数量是渔业资源可持续利用的起点和基础,但它的结构形成和演化是自然规律和社会经济规律共同作用的结果。因此,在考虑渔业资源能否健康可持续地满足人类需求时,应同时考虑经济发展对渔业资源系统的支持和作用,社会进步对资源系统的需求和影响。为此,本文以渔业资源环境-经济-社会复合系统作为渔业资源可持续利用评价的基本框架。渔业资源环境子系统的健康是渔业资源可持续利用的基础,它的质量和状态反映了它对渔业资源可持续利用的支持能力;经济子系统对社会发展的支持和对渔业资源系统提供的保障能力反映了渔业资源可持续利用系统的协调程度;社会子系统反映了渔业资源的开发利用、经济的发展对促进人民生活质量和精神文明程度的提高,满足人们的物质和精神需求的程度。因此选择了反映渔业资源质量、密度和发展潜力的 7 个指标作为资源环境子系统的指标,反映渔业生产效益和经济效益的 10 个指标为经济子系统的指标,渔业资源满足人们需求和渔业产业结构等 7 个指标为社会子系统的指标(表 1)。

\* 浙江省自然科学基金项目, Y306163 号。倪海儿, 教授, E-mail: nihaier@nbu.edu.cn

收稿日期: 2008-02-25, 收修改稿日期: 2008-04-23

表 1 渔业资源可持续利用评价指标体系  
Tab.1 The indicator system of evaluating sustainable use of fisheries resources

子系统	变量名	指标
资源环境子系统 $X_1$	$X_{11}$	鱼类产量占捕捞总产量的比重(%)
	$X_{12}$	优质鱼产量占捕捞总产量的比重(%)
	$X_{13}$	单船产量(t)
	$X_{14}$	每吨位机动船产量(t)
	$X_{15}$	每千瓦机动船产量(CPUE)(t/kW)
	$X_{16}$	CPUE 年增量(t/kW)
	$X_{17}$	鱼类产量与虾蟹产量之比
社会子系统 $X_2$	$X_{21}$	海洋捕捞专业劳力与兼业劳力之比
	$X_{22}$	海洋渔业劳力占社会劳动者比重(%)
	$X_{23}$	水产品人均占有量(t)
	$X_{24}$	海洋捕捞劳力占渔业劳力比重(%)
	$X_{25}$	海洋捕捞劳力占渔业人口比重(%)
	$X_{26}$	渔业人口占总人口比重(%)
	$X_{27}$	渔业劳力占渔业人口比重(%)
经济子系统 $X_3$	$X_{31}$	海洋捕捞产量占海洋渔业总产量的比重(%)
	$X_{32}$	海洋捕捞产量占渔业产量的比重(%)
	$X_{33}$	平均每艘机动渔船吨位(t)
	$X_{34}$	渔业产值占大农业产值的比重(%)
	$X_{35}$	平均每艘机动渔船功率(kW)
	$X_{36}$	渔民人均收入(元)
	$X_{37}$	渔民劳均收入(元)
	$X_{38}$	渔业产值占工农业总产值的比重(%)
	$X_{39}$	渔业产值年增长率(%)
	$X_{310}$	渔民劳均海洋捕捞产量(t)

1.2 评价方法

根据渔业资源可持续利用的目标,把历年关于各指标的取值分为三个灰类:“较高”、“一般”、“较低”,记为  $k=1, 2, 3$ 。记  $j$  指标  $k$  子类的典型白化权函数为  $f_j^k [c_j^k(1), c_j^k(2), c_j^k(3), c_j^k(4)]$ , 其中  $c_j^k(1), c_j^k(2), c_j^k(3), c_j^k(4)$  为  $f_j^k$  的转折点, 如果  $f_j^k$  无某一转折点  $c_j^k(i)$ , 则在白化权函数  $f_j^k$  中以“-”表示。分别记  $f_j^k [-, -, c_j^k(3), c_j^k(4)]$ 、 $f_j^k [c_j^k(1), c_j^k(2), -, c_j^k(4)]$ 、 $f_j^k [c_j^k(1), c_j^k(2), -, -]$  为下限测度白化权函数、适中测度白化权函数和上限测度白化权函数(刘思峰等, 2004), 它们分别定义为

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x > c_j^k(4) \\ 1 & x \leq c_j^k(3) \\ \frac{c_j^k(4) - x}{c_j^k(4) - c_j^k(3)} & x \in [c_j^k(3), c_j^k(4)] \end{cases}$$

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [c_j^k(1), c_j^k(4)] \\ \frac{x - c_j^k(1)}{c_j^k(2) - c_j^k(1)} & x \in [c_j^k(1), c_j^k(2)] \\ \frac{c_j^k(4) - x}{c_j^k(4) - c_j^k(2)} & x \in [c_j^k(2), c_j^k(4)] \end{cases} \quad (1)$$

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x < c_j^k(1) \\ \frac{x - c_j^k(1)}{c_j^k(2) - c_j^k(1)} & x \in [c_j^k(1), c_j^k(2)] \\ 1 & x \geq c_j^k(2) \end{cases}$$

考虑到各指标在可持续利用评价中的重要性不同, 对各指标赋予不同的权重。设参评的指标数为  $m$ ,  $x_{ij}$  为第  $i$  个对象关于第  $j$  个指标的观察值 ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 由(1)式定义的白化权函数可求得  $x_{ij}$  属于第  $k$  ( $k=1, 2, 3$ )灰类的函数值。综合每一对象关于各指标的白化权函数值, 确定第  $i$  个对象属于第  $k$  灰类的灰色聚类系数为

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij})\eta_j, \quad k=1,2,3 \quad (2)$$

上式中  $\eta_j$  为第  $j$  个指标的权重。根据(2)式得到的聚类系数, 如果  $\max\{\sigma_i^k\} = \sigma_i^{k^*}$ , 则将对象  $i$  归为第  $k^*$  类。

进一步计算第  $i$  个对象的得分为

$$Y_i = (0.5 \times \sigma_i^1 + 0.3 \times \sigma_i^2 + 0.2 \times \sigma_i^3) \times 100 \quad (3)$$

上式得到的值即为可持续利用水平的评估值。

1.3 预测方法

记由式(3)得到的历年可持续利用水平序列为  $\{y_i^{(0)}\}$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , 它的一次累加生成序列记为  $\{y_i^{(1)}\}$ , 建立如下 GM(1,1)模型

$$\frac{dy^{(1)}}{dt} + ay^{(1)} = b \quad (4)$$

利用以上模型, 对于  $i=2,3,\dots,n$  可得可持续利用水平的模拟值  $\hat{y}_i^0$ 。

记 GM(1,1)模型的拟合残差为

$$e_i = y_i^0 - \hat{y}_i^0, \quad i=2,3,\dots,n \quad (5)$$

由下式进一步计算预测模型的平均相对误差

$$\sum_{i=2}^n \left( \frac{|e_i|}{y_i^{(0)}(i)} \right) / (n-1) \quad (6)$$

如果平均相对误差达到了预期的拟合精度, 则可用模型(4)对未来的可持续利用水平进行预测, 否



取  $\gamma_\alpha$  为灰色关联系数的临界值, 如果  $\gamma_{ij} > \gamma_\alpha$ , 则认为第  $i$  个指标和第  $j$  个指标变化趋势较为一致, 因此将它们归为同一类, 否则归为不同的类。

分析各子系统的关联矩阵, 在资源环境子系统中, 取  $\gamma_\alpha = 0.54$ , 可把子系统中的 7 个指标分为三类, 第一类反映了渔业资源的质量, 包括  $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{17}$ ; 第二类反映了渔业资源的密度, 包括  $X_{13}$ 、 $X_{14}$ 、 $X_{15}$ ; 第三类反映了渔业资源的利用潜力, 包括  $X_{16}$ 。取  $\gamma_\alpha = 0.51$  为社会子系统聚类的临界值, 可把  $X_{21}$ 、 $X_{22}$ 、 $X_{24}$ 、 $X_{25}$ 、 $X_{26}$ 、 $X_{27}$  归为一类, 它们反映了渔业产业结构及其在社会产业中所占的比重;  $X_{23}$  归为另一类, 反映了渔业资源满足人们需求的程度。取  $\gamma_\alpha = 0.55$ , 可把经济子系统指标分成三类, 第一类包括  $X_{31}$ 、 $X_{32}$ 、 $X_{33}$ 、 $X_{35}$ 、 $X_{310}$ , 它们反映了海洋渔业生产的效率; 第二类是  $X_{34}$ 、 $X_{38}$ 、 $X_{39}$ , 反映了渔业在社会经济中的地位和发展潜力; 第三类反映了渔业经济收入, 由  $X_{36}$ 、 $X_{37}$  组成。

在以上分析的基础上, 根据各指标的代表性, 在各子系统的每一类中选出一个指标作为可持续利用的评价指标, 由专家评分法确定各指标权重, 同时确

定各评价指标的白化权函数。选出的评价指标、评价指标的白化权函数及其相应的权重列于表 5 中。

根据表 5 中各指标的白化权函数和权重, 由式(1)可得舟山市历年各指标的白化权函数值, 然后由式(2)得到舟山市历年的灰色聚类系数和渔业资源可持续利用水平所属的灰类, 进一步由式(3)计算历年可持续利用水平的总评估值, 结果见图 1。

由图 1 可见, 20 世纪 60 年代前可持续利用的水平较低, 60 年代后可持续利用水平逐步提高, 到 70 年代中期达到最高水平, 然后振荡下降, 到 80 年代进入低谷, 90 年代起逐渐回升。这一结果与倪海儿等(2003)用灰色关联评价对舟山渔场渔业资源可持续利用的评价结果基本一致, 也与陈新军等(2002b)对东海区渔业资源可持续利用的评价结果十分相似。

进一步对各子系统的情况进行的分析结果表明, 20 世纪 60 年代前, 资源环境子系统基本上均属较高灰类, 而社会和经济子系统均为较低灰类。当时由于捕捞生产以木帆船为主, 渔业技术落后, 渔业资源没有得到充分的开发利用, 因此虽然渔业资源开发利用的潜力较大, 但它对社会、经济的贡献较小, 社会

表 5 评价指标的权重和白化权函数  
Tab.5 Weights and grey whitening weight function of each indicator

指标	权重	白化权函数		
		“较高”灰类	“一般”灰类	“较低”灰类
鱼类产量占捕捞总产量的比重(%)	0.15	$f^1(0.7, 0.94, -, -)$	$f^2(0.60, 0.75, -, 0.9)$	$f^3(-, -, 0.5, 0.7)$
CPUE(t/kW)	0.16	$f^1(1.6, 3.5, -, -)$	$f^2(1.0, 1.8, -, 2.8)$	$f^3(-, -, 0.5, 1.5)$
CPUE 年增量(t/kW)	0.14	$f^1(0.1, 0.5, -, -)$	$f^2(0, 0.1, -, 0.3)$	$f^3(-, -, -0.1, 0)$
渔业劳力占渔业人口比重(%)	0.12	$f^1(0.30, 0.48, -, -)$	$f^2(0.25, 0.30, -, 0.45)$	$f^3(-, -, 0.18, 0.30)$
水产品人均占有量(t)	0.13	$f^1(0.5, 1.3, -, -)$	$f^2(0.2, 0.6, -, 1)$	$f^3(-, -, 0.15, 0.5)$
渔业产值占大农业产值的比重(%)	0.1	$f^1(0.68, 0.88, -, -)$	$f^2(0.58, 0.7, -, 0.85)$	$f^3(-, -, 0.5, 0.73)$
渔民人均收入(元)	0.1	$f^1(1000, 8000, -, -)$	$f^2(100, 1600, -, 7000)$	$f^3(-, -, 60, 1600)$
平均每艘机动渔船吨位(t)	0.1	$f^1(40, 150, -, -)$	$f^2(30, 60, -, 110)$	$f^3(-, -, 25, 60)$

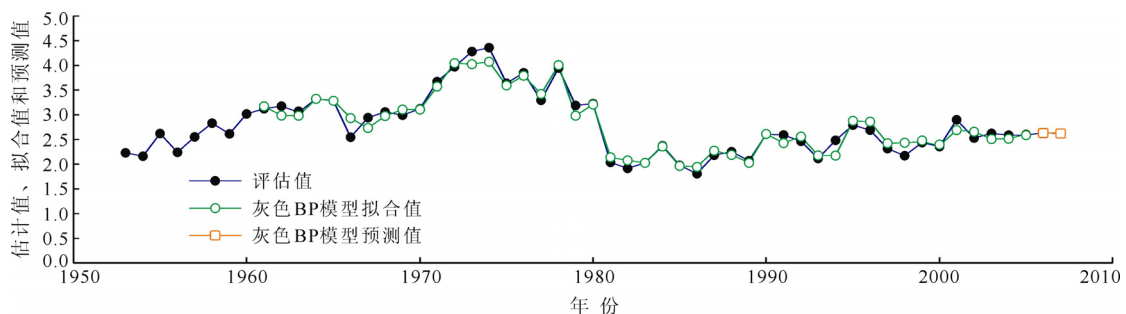


图 1 可持续利用水平的评估值和灰色 BP 模型的拟合值和预测值

Fig.1 Evaluation values, fitted values and predicted values of sustainable use level by grey BP neural network model

和经济协调度水平较低, 可持续利用总体水平不高。60年代后, 全面推广使用了机帆船, 使渔业资源开发利用程度不断提高, 渔业经济得到了较快发展, 资源环境子系统逐步达到最高水平, 此后, 由于资源的过度开发利用, 超过了资源的再生能力, 因此逐步回落, 而在这段时间经济和社会子系统达到了中等或较高水平, 因此可持续利用水平总体评价逐步提高, 达到最高水平后, 随着资源环境子系统水平的回落而逐步回落; 从 80 年代各子系统的评价结果看, 虽然社会和经济子系统的水平相比 20 世纪 60 年代前得以提高, 但作为渔业资源可持续利用的基础, 资源环境子系统逐步下降并到达最低水平, 因此使得渔业资源可持续利用处于低水平。90 年代后, 由于采取了渔业管理的措施, 渔业资源的过度开发利用得到了一定程度的抑制, 资源环境子系统的下降趋势得到缓解, 社会经济水平也处于较高水平, 因此可持续利用的总体水平逐步提高。

## 2.2 舟山渔场渔业资源可持续利用水平的预测

由以上得到的舟山市 1954—2005 年可持续利用水平序列  $\{y_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, 52$ ), 建立 GM(1,1)模型及时间响应式如下:

$$\frac{dy^{(1)}}{dt} - 0.00578y^{(1)} = 3.2588$$

$$\hat{y}^{(1)}(i+1) = 566.4269e^{0.00578i} - 563.806$$

经还原计算得到舟山市 1955—2005 年可持续利用水平的模拟值。为检验模型的拟合精度, 由式(5)计算 GM(1,1)模型的残差, 得到残差序列  $\{e_i\}$  ( $i = 2, 3, \dots, 52$ ), 由式(6)计算平均相对误差为 37%, 即用 GM(1,1)模型估计的精度仅为 63%。为提高预测精度, 进一步对残差用 BP 网络模型进行修正。

对于残差序列  $\{e_i\}$  ( $i = 2, 3, \dots, 52$ ), 选定预测模型的自变量维数为 7, 即用  $e_{i-7}, e_{i-6}, \dots, e_{i-1}$  ( $i = 9, 10, \dots, 52$ )的信息来预测  $e_i$ 值。将  $e_{i-7}, e_{i-6}, \dots, e_{i-1}$  ( $i = 9, 10, \dots, 52$ )作为 BP 网络训练的输入样本,  $e_i$ 作为 BP 网络训练的导师值, 取隐含层为 1, 隐含层节点数为 5, 最小训练速率为 0.9, 允许误差为 0.0001, 进行训练, 得到残差的 PB 网络模型。

根据 PB 网络模型对残差的拟合结果, 利用式(7)计算得到 1962—2005 年可持续利用水平的拟合值(图 1), 由式(6)计算拟合的平均相对误差为 1.88%, 比 GM(1,1)模型拟合的相对误差缩小了近 19 倍。

利用 BP 灰色神经网络模型, 进一步对 2006 年、2007 年可持续利用水平进行了预测, 预测值和实际评价值绘于图 1 中。表 6 中列出了部分(2000—2005 年)可持续利用水平的实际评价值、拟合值和 2006 年、2007 年可持续利用水平的实际评价值和预测值。

由表 6 可见, 用灰色神经网络拟合的相对误差均在 1.5%以下, 2006 年与 2007 年的预测误差仅为 0.24%和 0.66%。

## 3 讨论

从 GM(1,1)模型的一阶微分方程式(4)可见, GM(1,1)模型实际上描述了一个惯性系统(吴雅等, 1988; Pandit *et al*, 1983)。与大多数的社会、经济系统一样, 渔业资源系统具有很大的惯性, 因此用 GM(1,1)模型来描写渔业资源可持续利用系统是合适的。在模型(4)中  $-\alpha$ 反映了可持续利用水平的发展态势, 研究表明(刘思峰等, 2004), 当  $-\alpha \geq 0.3$  时, GM(1,1)可用于中长期预测。以上分析中得到  $-\alpha = 0.00578$ , 因此该模型可用于对可持续利用水平的中长期预测。人工神

表 6 可持续利用水平的 GM(1, 1)和灰色 BP 神经网络模型的拟合值和预测值

Tab.6 Fitted values and predicted values of sustainable use level by GM (1, 1) and grey BP neural network model

年份	灰色聚类评估值	GM(1,1)		灰色 BP 神经网络模型	
		模拟值	相对误差	拟合值和预测值	相对误差
2000	2.3571	3.4497	0.4635	2.3699	0.0054
2001	2.9018	3.4668	0.1947	2.8594	0.0146
2002	2.5305	3.4840	0.3768	2.4999	0.0121
2003	2.6241	3.5012	0.3343	2.6398	0.0060
2004	2.5888	3.5186	0.3591	2.6082	0.0075
2005	2.5875	3.5811	0.3840	2.6031	0.0060
2006	2.6385			2.6321	0.0024
2007	2.6199			2.6373	0.0066

神经网络模型具有模仿多种函数的能力, 可以实现从输入到输出的任意非线性映射, 而且它避免了系统数据辨识方法在序列累加时因正负抵消而产生信息失真的现象, 因此人工神经网络特别适合于对 GM(1,1) 进行残差修正(刘思峰等, 2004), 从以上的分析可见, 经过 BP 神经网络模型对 GM(1,1)残差修正后, 得到了很高的预测精度。因此用 GM(1,1)与 BP 神经网络模型相结合形成的灰色 BP 神经网络模型对渔业资源可持续利用水平进行预测是合适的。

在渔业资源可持续利用的评价中, 评价指标体系的构建是得到客观合理评价结果的前提, 本文根据渔业资源可持续利用的内涵和指标的可得性选择了关于渔业资源环境、社会和经济等 24 个指标, 由于受资料的限制, 有些指标未能包含在评价的指标体系中, 需在以后的研究中积累更多的资料。白化权函数的确定是渔业资源可持续利用灰色评价中的另一个关键的问题, 本文中的白化权函数是根据舟山渔业发展的状况, 结合浙江省渔业发展“十一五”规划并通过专家咨询综合确定的。从评价结果看, 根据以上构建的指标体系和白化权函数对舟山市渔业资源可持续利用水平的评价基本上符合舟山市渔业资源可持续利用的状况。

## 参 考 文 献

- 邓聚龙, 2005. 灰色系统基本方法. 武汉: 华中科技大学出版社, 56—155
- 刘思峰, 党耀国, 方志耕等, 2004. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学出版社, 142—146
- 吴 雅, 杨叔子, 陶建华, 1988. 灰色预测和时序预测的探讨. 华中理工大学学报, 16(3): 27—34
- 陈新军, 周应祺, 2002a. 基于 BP 模型的渔业资源可持续利用综合动态评价. 湛江海洋大学学报, 22(6): 38—44
- 陈新军, 周应祺, 2002b. 渔业资源可持续利用的灰色相对关联评价. 水产学报, 26(4): 331—336
- 陈新军, 周应祺, 2003a. 基于 BP 模型的渔业资源可持续利用预警系统评价. 中国渔业经济, 3: 23—25
- 陈新军, 周应祺, 2003b. 渔业资源可持续利用系统化评价方法的应用研究. 上海水产大学学报, 12(1): 29—34
- 倪海儿, 陆杰华, 2003. 舟山渔场渔业资源可持续利用指标体系的构建与评价. 应用生态学报, 14(6): 985—988
- Garcia S M, Staples D J, 2000. Sustainability reference systems and indicators for responsible marine capture fisheries: a review of concepts and elements for a set of guideline. Mar Freshwater Res, 51(5): 385—426
- Pandit S M, Wu S M, 1983. Time Series and System Analysis with Applications. New York: John Wiley and Son, 154—200

## GREY EVALUATION AND FORECAST OF SUSTAINABLE USE OF FISHERIES RESOURCES IN ZHOUSHAN FISHERIES GROUND

NI Hai-Er<sup>1,2</sup>, ZHOU Rui-Juan<sup>1</sup>

(1. Faculty of Life Science and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo, 315211;

2. Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education, Ningbo, 315211)

**Abstract** By testing the method of evaluating and forecasting the sustainable use of fisheries resources in grey system theory, a grey clustering evaluation model and a grey BP (error back propagation) neural network model were built. The evaluation and forecast on the sustainable use of fisheries resources were conducted based on the data of resource-environment, economy, and society in Zhoushan Fishing Ground during 1954—2005. The result is ideal for having the relative error of forecasting at 1.88% only.

**Key words** Fisheries resource, Sustainable use, Evaluation, Forecast