

水产养殖综合效益评价指标体系研究

蒋涛, 田传远, 李琪, 孔令峰, 郭园园

(中国海洋大学 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003)

摘要: 本研究采用层次分析法和德尔菲法, 在经济效益、社会效益和生态效益三个方面筛选了 18 个指标, 建立了水产养殖综合效益评价指标体系。通过构造两两比较判断矩阵, 计算最大特征根和特征向量, 得到各指标的重要性排序。结果显示: 对于水产养殖综合效益来说, 准则层中各因素重要程度的排序为: 经济效益>生态效益>社会效益; 对于经济效益来说, 其隶属指标的排序为: 劳均渔产值>投入产出比>利润>产值>面积>投入; 对于生态效益来说, 其隶属指标的排序为: 养殖密度>水层利用率>渔药使用强度>养殖水达标排放>内部环境>外部环境; 对于社会效益来说, 其隶属指标的排序为: 产品合格率>渔民增收>就业效果>劳均用量>万元产值耗能>蛋白贡献率。

关键词: 水产养殖; 综合效益评价; 指标体系; 层次分析法

中图分类号: F326.407

文献标识码: A

文章编号: 1009-(2016)04-0077-07

我国是世界第一水产养殖大国, 水产养殖业已成为促进渔民(农民)增收、食品安全供给和渔村(农村)快速发展的重要产业, 为社会带来巨大经济效益。与此同时, 其产生的社会效益和生态效益如何呢? 随着水产养殖业快速发展, 这个问题急需回答。开展水产养殖业综合效益的研究, 可以揭示该产业发展的内部规律, 对产业进行全面系统的评价, 为管理部门、养殖生产者及其他利益相关者的决策提供科学依据, 因此, 是正确回答上述问题的科学途径。目前, 仅有少数学者从经济效益、社会效益和生态效益中的单方面或两个方面进行了评价^[1-4]。在经济效益、社会效益和生态效益三个准则层开展综合效益评价尚未见报道。

在我国, 综合效益研究多采用 AHP 分析法和模糊综合评价法^[5]。其中, 层次分析法是由美国运筹学家, 匹兹堡大学萨迪(T.L.Saaty)教授于 70 年代初提出, 并由萨迪教授的学生高兰尼柴(H.Gholamnezhad)于 1982 年 11 月召开的中美能源、资源、环境学术会议上首先向中国学者介绍的^[6]。层次分析法是一种定性定量相结合, 将人的主观判断用数量形式表达和处理的方法, 它将定性指标进行量化处理, 把目标多、定性指标比重大的复杂问题数据化, 从而运用数学模型进行决策分析^[5]。本文运用层次分析法(AHP 分析法)和德尔菲法(Delphi 法)对水产养殖业进行定性和定量分析, 建立水产养殖业综合效益评价的指标体系, 以期为后续研究提供参考。

收稿日期: 2015-02-04

作者简介: 蒋涛(1988-), 男, 中国海洋大学水产学院硕士研究生, 主要研究方向为水产养殖综合效益评估, E-mail: jiangtao19880517@163.com; 通讯作者: 田传远(1966-), 男, 中国海洋大学水产学院高级工程师, 硕士生导师, 主要研究方向为水产养殖动物遗传育种、苗种繁育和增养殖技术等; 李琪(1966-), 男, 中国海洋大学水产学院教授, 博士生导师, 主要研究方向为海洋贝类遗传育种学、繁殖生物学、系统分类学、群体遗传学; 孔令峰(1978-), 男, 中国海洋大学水产学院副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为贝类遗传育种学、分类学。

论文说明: 本文得到国家海洋公益性行业科研专项经费项目(201305005)的资助。感谢本文匿名审稿人的宝贵意见, 文责作者自负。

一、构建综合效益评价指标体系

(一) 筛选综合效益评价指标

本文在研究国内外文献的基础上，选择出现频率较高的指标，进行重复指标或相近指标的筛选，对指标进行调整和重组，将初步筛选的结果通过德尔菲法广泛征求相关专家的意见，最终确定 18 个指标见表 1。

表 1 水产养殖综合效益评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标注释
A 综合效益	B ₁ 经济效益	C ₁₁ 面积	养殖水体面积
		C ₁₂ 产值	产值=销售价格×销售量
		C ₁₃ 投入	主要包括苗种费、饵料费、人工费、水电费、租金、维修费
		C ₁₄ 利润	利润=产值-投入
		C ₁₅ 投入产出比	投入产出比=投入/产值
		C ₁₆ 劳均渔产值	劳均渔产值=产值/养殖人数
	B ₂ 生态效益	C ₂₁ 水层利用率	水层利用率=养殖品种生存水体/总水体
		C ₂₂ 养殖密度	养殖密度=单位水体内的养殖生物数量
		C ₂₃ 内部环境	主要包括养殖水的 pH、溶解氧、氨氮、亚硝酸盐
		C ₂₄ 外部环境	主要包括养殖场所周围的地貌、景观和环境因子
		C ₂₅ 养殖水达标排放	主要包括养殖排放水的 pH、溶解氧、氨氮、亚硝酸盐
		C ₂₆ 渔药使用强度	渔药使用强度=养殖期间向单位池塘水体中投放的药物使用剂量
	B ₃ 社会效益	C ₃₁ 蛋白贡献率	蛋白贡献率=养殖成品蛋白质含量占体重的百分比
		C ₃₂ 产品合格率	产品合格率=达到商品要求的产品数量/总产品数量
		C ₃₃ 劳均用量	劳均用量=养殖人数/养殖面积
		C ₃₄ 就业效果	就业效果=养殖人数/养殖总投入
		C ₃₅ 渔民增收	渔民增收=养殖者的年均收入-养殖者未从事水产养殖之前的年均收入
		C ₃₆ 万元产值耗能	万元产值耗能=水产养殖每产生 1 万元的产值所消耗的总能量

(二) 评价指标体系的有效性判断和可靠性判断

在问题决策过程中，由于专家认识的差异，对同一指标会给出不同的分值。如果差别较大，可能会影响指标体系的有效性和可靠性，因此，有必要对评价指标体系进行有效性和可靠性评估与判断^[7]。

评价指标体系的有效性判断和可靠性判断的计算方法^[8]为：

1. 评价指标体系的有效性判断

共请六位专家参加评价，采用五分制打分法，得到评价指标体系的效度系数见表 2。

设评价指标体系 $A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ，参加评价的专家人数为 P ，专家 j 对评价目标的评分集为 $X_j=\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}$ ，评分平均值为 \bar{x}_i ，指标 a_i 的效度系数为 β_i ，评价指标体系 A 的效度系数为 β ， M 为指标 a_i 的评语集中评分最优值。

$$\beta_i = \sum_{j=1}^s \left| \bar{x}_i - x_{ij} \right| / P * M \quad \bar{x}_i = \sum_{j=1}^s \bar{x}_{ij} / P \quad \beta = \sum_{i=1}^n \beta_i / n$$

由于该项系数没有规定的有效标准，参照统计学的相关研究成果，可以认为 β 小于 0.2 即符合要求^[7]。

2. 评价指标体系的可靠性判断

设评价指标体系 A 的可靠性系数为 ρ ，专家 j 的可靠性系数为 ρ_j 。

$$\rho = \sum_{j=1}^s \rho_j / P \quad \rho_j = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)(\bar{X}_i - \bar{y}) / \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \sum_{i=1}^n (\bar{X}_i - \bar{y})^2}, j=1, 2, \dots, s$$

$$\bar{X}_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} / n \quad \bar{X}_i = \sum_{j=1}^s X_{ij} / P \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i / n$$

当 $\rho \in (0.80, 0.95)$ ，可认为该评价指标体系的可靠性良好，当 $\rho \in (0, 0.80)$ ，则可认为该评价指标体系的可靠性较差^[8]。评价指标体系的可靠性系数见表 2。

表 2 水产养殖综合效益评价指标体系效度和可靠性系数计算表
 效度系数 $\beta = 0.103$ 可靠性系数 $\rho = 0.873$

综合效益指标	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	\bar{X}_i	$\sum \bar{X}_i - X_{ij} $	β_i
面积	3	4	3	4	3	3	3.333	2.667	0.111
产值	5	5	4	4	5	5	4.667	2.667	0.089
投入	5	5	4	5	4	4	4.5	3	0.1
利润	5	5	5	5	5	5	5	0	0
投入产出比	5	5	4	5	4	5	4.667	2.667	0.089
劳均渔产值	3	3	3	2	3	3	2.833	1.667	0.093
水层利用率	3	3	2	3	2	2	2.5	3.000	0.167
养殖密度	3	3	2	3	3	2	2.667	2.667	0.148
内部环境	5	4	5	5	4	5	4.667	2.667	0.089
外部环境	3	3	4	3	3	3	3.167	1.667	0.069
养殖水达标排放	4	5	4	5	4	5	4.5	3	0.1
渔药使用强度	3	4	3	3	4	4	3.5	3	0.125
蛋白贡献率	3	4	3	4	3	4	3.5	3	0.125
产品合格率	5	4	5	5	4	5	4.667	2.667	0.089
劳均用量	3	3	3	4	3	4	3.333	2.667	0.111
就业效果	3	4	3	4	3	4	3.5	3	0.125
渔民增收	3	5	4	5	4	5	4.333	4	0.133
万元产值耗能	4	4	4	4	5	5	4.333	2.667	0.089
合计							69.667	46.667	1.852

$$\rho_1=0.855 \quad \rho_2=0.850 \quad \rho_3=0.888 \quad \rho_4=0.858 \quad \rho_5=0.864 \quad \rho_6=0.924 \quad \rho = 0.873$$

经检验，专家估计的评价指标体系权重的效度系数 β 值为 0.103，小于 0.2，这说明指标体系权重符合有效性要求；专家估计的评价指标体系权重的可靠性系数 ρ 为 0.873，大于 0.8，这说明指标体系权重符合可靠性要求。

二、确定各项指标的权重值

(一) 构造判断矩阵、进行层次单排序及一致性检验

通过德尔菲法进行专家匿名咨询，由专家利用 1-9 比例标度法分别对每一层次的评价指标的相对重要性进行定性描述，并用准确的数字进行量化表示，不同数字代表不同的含义见表 3。

表 3 层次分析法 1-9 比例标度

标 度	含 义
1	表示两个元素相比，具有同样重要性
3	表示两个元素相比，前者比后者稍微重要
5	表示两个元素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比，前者比后者极端重要
2、4、6、8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若元素 i 与元素 j 的重要性之比为 a_{ij} ，那么元素 j 与元素 i 重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

在进行层次单排序前，去掉专家打分的最大值和最小值，取几何平均值，依据平均值建立判断矩阵见表 5-8，然后根据判断矩阵计算权重并进行一致性检验。一致性检验时，需计算一致性指标 $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$ ，平均随机一致性指标 $RI^{[9]}$ 见表 4，当一致性比例 $CR= CI/RI<0.1$ 时，认为判断矩阵具有满意的一致性，即权重的分配是合理的；否则，需要将问卷反馈给专家，重新构造判断矩阵。

表 4 平均随机一致性指标 RI

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

表 5 A-B 判断矩阵及层次单排序

A	B ₁	B ₂	B ₃	权重
B ₁	1	1.3161	3.873	0.5044
B ₂	0.7598	1	2.3404	0.3551
B ₃	0.2582	0.4273	1	0.1405
合计				1.0000

$\lambda_{max}=3.0058$ ， $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=0.0029$ ， $RI=0.58$ ， $CR=CI/RI=0.0050<0.1$

由表 5 可以得出，矩阵 A-B 符合一致性要求($CR=0.005<0.1$)。对于“水产养殖综合效益”的总目标来说，准则层中各因素重要程度的排序及权值为：经济效益(0.5044)>生态效益(0.3551)>社会效益(0.1405)。

表 6 B1-C 判断矩阵及层次单排序

B ₁	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	权重
C ₁₁	1	1	1.1362	0.5081	0.2934	0.3247	0.0921
C ₁₂	1	1	1	0.5318	0.4111	0.4387	0.1010
C ₁₃	0.8801	1	1	0.5081	0.3124	0.3102	0.0885
C ₁₄	1.968	1.8803	1.968	1	1	0.8409	0.2019
C ₁₅	3.4087	2.4323	3.2011	1	1	0.8409	0.2505
C ₁₆	3.0801	2.2795	3.2237	1.1892	1.1892	1	0.2660
合计							1.0000

$\lambda_{max}=6.0396$ ， $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=0.0079$ ， $RI=1.24$ ， $CR=CI/RI=0.0064<0.1$ 。

由表 6 可以得出，矩阵 B₁-C 符合一致性要求($CR=0.0064<0.1$)。对于经济效益来说，其隶属指标的排序及权值为：劳均渔产值(0.2660)>投入产出比(0.2505)>利润(0.2019)>产值(0.1010)>面积(0.0921)>投入(0.0885)。

表 7 B2-C 判断矩阵及层次单排序

B ₂	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅	C ₂₆	权重
C ₂₁	1	0.9391	1.968	3.2011	1.0878	1.0878	0.2185

C ₂₂	1.0648	1	2.1407	2.2248	1.4565	1.1067	0.2242
C ₂₃	0.5081	0.4671	1	1.4142	1	0.5774	0.1202
C ₂₄	0.3124	0.4495	0.7071	1	0.6687	0.4273	0.0872
C ₂₅	0.9193	0.6866	1	1.4953	1	1	0.1565
C ₂₆	0.9193	0.9036	1.7321	2.3403	1	1	0.1934
合计							1.0000

$\lambda_{max}=6.0553$, $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=0.0111$, $RI=1.24$, $CR=CI/RI=0.0089<0.1$ 。

由表7可以得出,矩阵B₂-C符合一致性要求(CR=0.0089<0.1)。对于生态效益来说,其隶属指标的排序及权值为:养殖密度(0.2242)>水层利用率(0.2185)>渔药使用强度(0.1934)>养殖水达标排放(0.1565)>内部环境(0.1202)>外部环境(0.0872)。

表8 B₃-C判断矩阵及层次单排序

B ₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅	C ₃₆	权重
C ₃₁	1	0.5081	0.9036	0.7953	0.7598	1	0.1288
C ₃₂	1.968	1	2.1147	1.8612	1.7321	2.59	0.2882
C ₃₃	1.1067	0.4729	1	1	0.7071	1.0574	0.1364
C ₃₄	1.2574	0.5373	1	1	1	1.2574	0.1553
C ₃₅	1.3161	0.5774	1.4142	1	1	1	0.1615
C ₃₆	1	0.3861	0.9457	0.7953	1	1	0.1298
合计							1.0000

$\lambda_{max}=6.0246$, $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=0.0049$, $RI=1.24$, $CR=CI/RI=0.0040<0.1$ 。

由表8可以得出,矩阵B₃-C符合一致性要求(CR=0.0040<0.1)。对于社会效益来说,其隶属指标的排序及权值为:产品合格率(0.2882)>渔民增收(0.1615)>就业效果(0.1553)>劳均用量(0.1364)>万元产值耗能(0.1298)>蛋白贡献率(0.1288)。

(二) 层次总排序及一致性检验

在对各指标进行层次单排序后,还需要对各指标进行层次总排序,求组合权重。根据层次单排序结果,用上一层各指标的权值与其下一层的对应权值相乘,如此从最高层次到最低层次递层进行,直到计算到最低层元素的权值为止见表9。

$$层次总排序的一致性检验仍然运用公式: CR=CI/RI=\frac{\sum_{i=1}^n W_i CI_i}{\sum_{i=1}^n W_i RI_i}$$

式中:CR为层次总排序一致性比例;CI为层次总排序一致性指标;CI_i为层次单排序时B_i所对应的一致性指标;RI为层次总排序平均随机一致性指标;RI_i为层次单排序时B_i所对应的平均随机一致性指标;W_i为层次单排序时B_i所对应的权值。

表9 A-C层次总排序计算结果

	经济效益	生态效益	社会效益	权值	排序
	0.5044	0.3551	0.1405		
C ₁₁ 面积	0.0921			0.0465	9
C ₁₂ 产值	0.1010			0.0509	8
C ₁₃ 投入	0.0885			0.0446	10
C ₁₄ 利润	0.2019			0.1018	3
C ₁₅ 投入产出比	0.2505			0.1264	2

C ₁₆ 劳均渔产值	0.2660			0.1342	1
C ₂₁ 水层利用率		0.2185		0.0776	5
C ₂₂ 养殖密度		0.2242		0.0796	4
C ₂₃ 内部环境		0.1202		0.0427	11
C ₂₄ 外部环境		0.0872		0.0309	13
C ₂₅ 养殖水达标排放		0.1565		0.0556	7
C ₂₆ 渔药使用强度		0.1934		0.0687	6
C ₃₁ 蛋白贡献率			0.1288	0.0181	18
C ₃₂ 产品合格率			0.2882	0.0405	12
C ₃₃ 劳均用量			0.1364	0.0192	16
C ₃₄ 就业效果			0.1553	0.0218	15
C ₃₅ 渔民增收			0.1615	0.0227	14
C ₃₆ 万元产值耗能			0.1298	0.0182	17

经检验，本研究构建的判断矩阵层次总排序的一致性比例 $CR=[(0.5044 \times 0.0079)+(0.3551 \times 0.0111)+(0.1405 \times 0.0049)] \div [(0.5044 \times 1.24)+(0.3551 \times 1.24)+(0.1405 \times 1.24)]=0.0069 < 0.1$ ，符合一致性要求。

各评价指标的排序及组合权重为：劳均渔产值(0.1342)>投入产出比(0.1264)>利润(0.1018)>养殖密度(0.0796)>水层利用率(0.0796)>渔药使用强度(0.0687)>养殖水达标排放(0.0556)>产值(0.0509)>面积(0.0465)>投入(0.0446)>内部环境(0.0427)>产品合格率(0.0405)>外部环境(0.0309)>渔民增收(0.0227)>就业效果(0.0218)>劳均用量(0.0192)。

三、结论

1. 本研究建立了水产养殖综合效益评价指标体系，为水产养殖综合效益评价提供了重要途径。以往关于水产养殖业的效益研究，主要集中在经济效益方面。但是，随着可持续发展战略的提出以及全球性资源与环境问题的加剧，改善生态环境、加强水产品质量安全管理、提高居民生活水平等问题已经在世界各国开始得到普遍关注。生态效益评价和社会效益评价也将成为水产养殖业综合效益评价的重要组成部分。从经济、生态、社会 3 个方面筛选 18 个指标对水产养殖业进行综合效益评价，可以为水产养殖业的发展提供更全面、更科学的依据。

2. 本研究建立的综合效益评价指标体系并不能作为水产养殖业综合效益评价的唯一标准，评价指标和权重分配可根据养殖模式的不同作出适当调整。本研究建立的水产养殖综合效益评价指标体系共 3 层 18 个指标，由于不同的养殖模式其特点不同，个别指标有时涉及不到，可将涉及不到的指标抽出，将其他各指标权重按原指标权重的大小分摊，公式为： $K_i' = \frac{K_i}{1 - K_j}^{[10]}$ ，

其中 K_i' 为各指标分摊后的新权重； K_i 为各指标的原权重； K_j 为被抽出指标的原权重。

3. 本研究建立的评价指标体系可以为不同水产养殖模式的综合效益分析提供理论依据。将对应的评价指标代入评价指标体系中，可以对不同的水产品养殖进行直接的比较分析，有利于正确引导当地水产养殖业的发展，推广优势养殖模式，判断水产养殖业的可持续发展状况，实现水产养殖效益的最大化。

参考文献：

- [1] Shang C, Yung C, Aquaculture Economics: An Overview, *GeoJournal*,1985,10,(3):299-305.
 [2] Gempe saw C M, Bacon J R, Supitaningsih, Hankins J, The economic potential of a small scale flow-through tank

- system for trout production, *Agricultural Systems*,1995,47,(1):59-72.
- [3] Sutonya T, Tony P, Sommai C, William K, Economic and water quality evaluation of intensive shrimp production systems in Thailand, *Agricultural Systems*,1997,53:121-141.
- [4] 宋春晓,杨德利.水产养殖业综合效益评价研究进展[J].广东农业科学,2012,(14):165-168.
- [5] 宋春晓,杨德利.水产养殖业综合效益评价指标体系及方法研究[J].广东农业科学,2012,(24):214-229.
- [6] 王莲芬,许树柏.层次分析法引论[M].中国人民大学出版社,1990.1-18.
- [7] 林本喜.浙江现代农业模式、评价与影响因素研究——基于资源利用效率的视角[M].中国农业出版社,2011.129-133.
- [8] 李随成,陈敬东,赵海刚.定性决策指标体系评价研究[J].系统工程理论与实践,2001,(9):22-28.
- [9] 姜启源.数学模型[M].高等教育出版社,2005.225-231.
- [10] 李洪泽,朱孔来.生态农业综合效益评价指标体系及评价方法[J].中国林业经济,2007,(5):19-38.

Aquaculture total benefits evaluation indexes system

JIANG Tao, TIAN Chuan-yuan, LI Qi, KONG Ling-feng, GUO Yuan-yuan

(Key Laboratory of Mariculture MOE, Ocean University of China, Shandong Qingdao 266003, China)

Abstract: This study screened 18 indicators in the following three aspects: economic benefit, social benefit and ecological benefit, and established the evaluation index system of the comprehensive benefits of aquaculture industry. By constructing pairwise comparison matrix and calculating the biggest characteristic root and characteristic vector to find the order of the importance of these indicators. The results showed that the economic benefit was the most important and the social benefit was the least important for the comprehensive benefits of aquaculture industry. For economic benefit, the order of its related indicators was the per capita production value, the input-output ratio, return, productive value, the culture area, and the last is input. For ecological benefit, the order of its related indicators was breeding density, the utilization of water layer, the use indensity of fishery medicine, the emission of water, internal environment and external environment. For social benefit, the order of its related indicators was the qualified rate of production, the fisherman increased income, the effect of employment, the number of workers per mu, the energy dissipation per ten thousand output and the protein contribution rate.

Key words: aquaculture; total benefits evaluation; indexes system; AHP

(责任编辑 耿瑞/校对 龙腾)