

基于层次分析法的莱州湾鱼卵、仔稚鱼评估

潘广臣¹, 邱盛尧¹, 张 华², 刘 欣²

(1. 烟台大学 海洋学院, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院 烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 作者采用层次分析法对莱州湾鱼卵、仔稚鱼群落结构进行评估, 旨在为渔业水域生态环境保护和渔业资源的合理利用提供参考和依据。根据 2014 年 5 月、6 月和 9 月对莱州湾鱼卵、仔稚鱼的调查结果, 分别以生物、经济、化学 3 类评价指标构建层次结构模型, 最终计算得到各站位评分。结果表明: 2014 年夏季到秋季的时间变化中, 莱州湾鱼卵、仔稚鱼群落结构最优区域的分布存在由近岸向中央区域转移的明显趋势。同时, 在评估结果方面, 针对评估体系中化学指标的存在与否, 莱州湾近岸区域相对于中央区域反应更加敏感。

关键词: 层次分析法; 莱州湾; 鱼卵; 仔稚鱼

中图分类号: S932 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2017)05-0034-08

DOI: 10.11759/hyxx20160828001

莱州湾位于山东半岛西北部, 是中国唯一的半封闭性陆架海湾^[1-2], 也是黄、渤海多种经济鱼虾类的产卵场^[3]。莱州湾入海河流众多, 构成了极具代表性的海洋近岸生态系统^[4]。沿岸工农业及生活污水等携带的陆源污染物, 导致莱州湾营养盐与重金属的分布总体呈现出西高东低的趋势^[5-11]。自 20 世纪 50 年代以来, 中国学者通过多次生态调查, 对包括莱州湾在内的渤海水域中鱼卵和仔稚鱼的种类组成及数量分布进行了一系列研究^[12-15]。结果表明, 自 1982 年以来, 莱州湾鱼卵、仔稚鱼种类数以及个体资源量下降趋势明显。其中, 夏季作为大部分鱼类的主要产卵期, 表现出其群落稳定性较春、秋季高的特征。

然而, 仅仅通过单一指标的数据说明, 难以全面评估海域的整体状况。故作者首次运用层次分析法, 综合考虑生物因素、经济因素和化学因素, 通过建立适用于鱼卵、仔稚鱼的层次结构模型, 对莱州湾夏、秋季鱼卵、仔稚鱼群落结构特征进行综合评估, 旨在为渔业水域生态环境保护和渔业资源的合理利用提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

1.1.1 调查时间和地点

由于港口扩建对生态造成一定影响, 故通过增设调查站位的方式, 降低评估误差, 2014 年在莱州湾设置 19 个站位(龙口外海区域), 于 5 月、6 月和 9 月共 3 个航次对所有站位进行鱼卵、仔稚鱼调查; 仅在

其中的 5 月和 9 月进行水质调查(图 1)。

1.1.2 取样方法

1.1.2.1 鱼卵、仔稚鱼样品采集

样品通过使用浅水 I 型浮游生物拖网(网长 145 cm, 网口内径 50 cm, 网口面积 0.2 m²)和大型浮游生物网(网长 280 cm, 网口内径 80 cm, 网目面积 0.5 m²)分别进行垂直和水平拖曳采集。样品装标本瓶以 5% 甲醛海水溶液固定保存, 带回实验室鉴定分析。

1.1.2.2 水质测定

主要对各站位表层海水中铵态氮、砷和锑的含量进行测定。

1.1.3 鱼卵、仔稚鱼种类鉴定与经济指标

鱼卵、仔稚鱼种类鉴定主要采用传统方法, 根据鱼卵、仔稚鱼的形态特征、产卵时间以及分布范围等进行鉴定, 所有种类鉴定到最小分类单元; 鱼卵、仔稚鱼经济指标数据主要来自实际走访调查统计。

1.2 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是

收稿日期: 2016-08-28; 修回日期: 2016-11-18

基金项目: 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14); 国家自然科学基金(41371483); 国家重点基础研究发展计划(973 项目, 2015CB453300) [Foundation: Key Deployment Project of the Chinese Academy of Sciences, No. KZZD-EW-14; National Natural Science Fund, No. 41371483; National Program on Key Basic Research Project of China, 973 Program, No. 2015CB453300]

作者简介: 潘广臣(1990-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要从事海洋生物资源研究, 电话: 15153515190, E-mail: 15153515190@163.com; 刘欣, 通信作者, 研究员, E-mail: xliu@yic.ac.cn

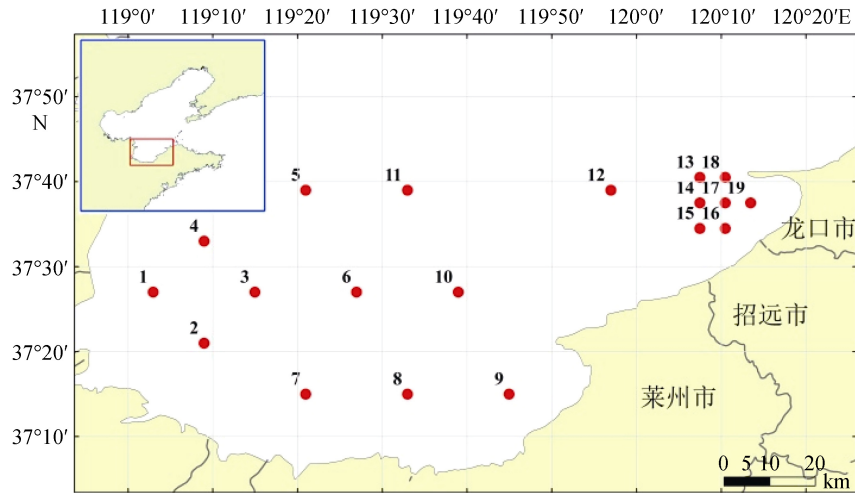


图 1 2014 年莱州湾鱼卵、仔稚鱼和水质调查站位

Fig. 1 Sampling sites of fish eggs and juveniles and water quality in the Laizhou Bay, 2014

由美国运筹学家、匹兹堡大学运筹学家 Saaty T.L. 教授于 20 世纪 70 年代初期提出的, 是一种适合于复杂问题的定性与定量相结合的系统分析与决策方法。它可以将人们的主观判断用数量形式来表达和处理, 通过把复杂问题分解成各个组成因素, 又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构, 进而两两比较各个因素以确定相对重要性, 然后综合决策者的判断, 最终确定决策方案相对重要性的总排序^[16-19]。

层次分析法由于具有易操作性、实用性和系统性等优点, 已经广泛应用于经济和环境系统分析、评价与决策过程^[20-22]。

1.2.1 构建层次结构模型

根据层次分析法模型构建的基本方法构建层次结构模型^[23-24](图 2、图 3)。

1.2.2 评价指标含义与计算方法

物种丰富度: Margalef 丰富度指数:

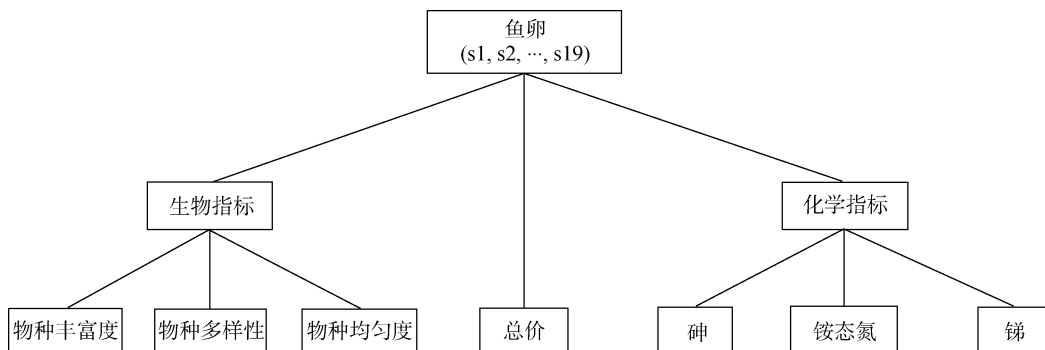


图 2 鱼卵层次结构模型

Fig. 2 Hierarchy structure model of fish eggs

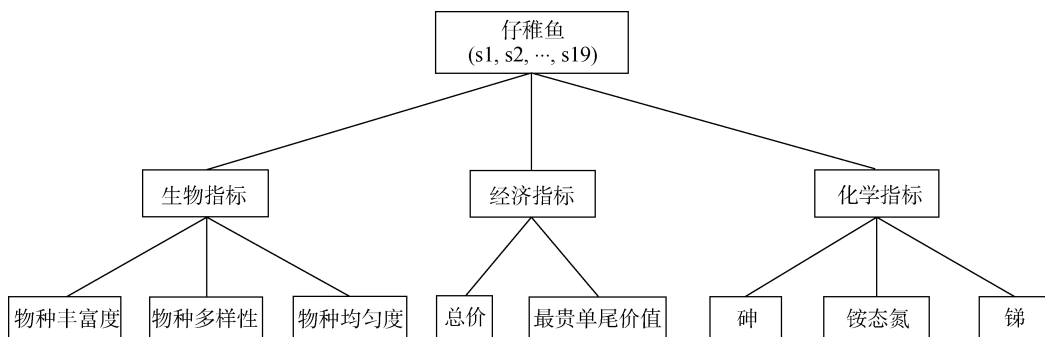


图 3 仔稚鱼层次结构模型

Fig. 3 Hierarchy structure model of juveniles

$$R = \frac{S-1}{\ln N} \quad (1)$$

其中, R 为物种丰富度, S 为种类数, N 为数量。

物种多样性: Shannon-Winener 多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

其中, H' 为物种多样性, S 为种类数, P_i 为第 i 种数量占总数量的比例。

物种均匀度: Pielou 均匀度指数:

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \quad (3)$$

其中, J' 为物种均匀度, H' 为物种多样性, S 为种类数。

总价: 鱼卵或仔稚鱼经济价值总和。

最贵单尾价值: 经济价值最高鱼类的仔稚鱼单尾价值。

铵态氮、砷、镉: 水质指标。

评价指标归一化处理

$$N = 100I/A \quad (4)$$

其中, N 为归一化后的评价指标值, I 为归一化前的评价指标值, A 为某指标归一化处理前的最大值。

1.2.3 评价指标权重值计算方法

通过调查问卷的形式得到各评价指标值, 统计后通过 Yaahp 进行计算得到各评价指标权重值。

1.2.4 评分计算方法

SC 为鱼卵、仔稚鱼结构特征评分(无量纲), 即 8 个(鱼卵为 7 个)评价指标的评分之和, 其分别为物种丰富度、物种多样性、物种均匀度、总价、最贵单尾价值(由于鱼卵不同种类的单粒经济价值差别很小, 对结果贡献较小, 故只用作仔稚鱼。鱼卵、仔稚鱼经济相关数据均是通过走访相关生产单位调查统计得到)、铵态氮、砷和镉。

其中, 铵态氮、砷和镉为成本型指标, 即指标的属性值越小越好, 故对其做相应转换。

$$SC = \sum_{i=1}^m N_i W_i + \sum_{j=1}^n (100 - N_j) W_j \quad (5)$$

其中, SC 为鱼卵、仔稚鱼结构特征评分, N_i 为 i 指标的归一化结果, W_i 为 i 指标的权重值, N_j 为 j 指标的归一化结果, W_j 为 j 指标的权重值。 i 指标包括物种丰富度、物种多样性、物种均匀度、总价和最贵单尾价值, j 指标包括铵态氮、砷和镉。 m 为 i 指标的数量, n 为 j 指标的数量。

2 结果与讨论

2.1 评价指标权重值

调查问卷采用面对面的发放形式, 受访者为中

国科学院烟台海岸带研究所相关研究领域专家。问卷全部回收后, 将调查数据录入 Yaahp 软件, 计算得到各评价指标权重值如表 1 所示。

表 1 评价指标权重值

Tab. 1 List of weights of evaluation indices

评价指标	权重值	
	鱼卵	仔稚鱼
物种丰富度	0.18	0.18
物种多样性	0.19	0.19
物种均匀度	0.07	0.07
总价	0.36	0.28
最贵单尾价值	—	0.08
铵态氮	0.12	0.12
砷	0.07	0.07
镉	0.03	0.03

2.2 评分结果

各调查站位鱼卵、仔稚鱼结构特征评分均采用百分制, 评分越高表明鱼卵、仔稚鱼群落结构特征越优。

2.2.1 鱼卵结构特征评分结果

鱼卵结构特征评分分为 5 月、6 月和 9 月 3 个时间段进行, 评分结果显示: 5 月各站位评分相对于 6 月和 9 月整体较高, 其中, 13、17 站位评分高于 50; 6 月评分结果中, 5、4、3、1 站位评分高于 50; 9 月评分结果中, 6 站位评分高于 50, 10 站位评分高达 70.77(图 4)。

2.2.2 仔稚鱼结构特征评分结果

仔稚鱼结构特征评分亦分为 5 月、6 月和 9 月 3 个时间段进行, 其评分结果显示: 5 月各站位评分相对于 6 月和 9 月整体较高, 其中, 4 站位评分高达 78.63; 6 月评分结果中, 只有 12 站位评分高于 50; 9 月评分结果中, 6 站位评分高达 88.84(图 5)。

2.2.3 5 月、6 月和 9 月评分最高站位地理分布

通过对 5 月、6 月和 9 月评分最高值站位统计得出: 鱼卵方面分别为 5 月 13 站位、6 月 3 站位、9 月 10 站位; 仔稚鱼方面分别为 5 月 4 站位、6 月 12 站位、9 月 6 站位(图 6)。

2.3 层次分析法敏感性分析

为了检验层次结构模型的稳定性, 故对其进行敏感性分析。由于调查航次的原因, 6 月没有对各站位中铵态氮、砷和镉含量情况做调查, 致使 6 月评价

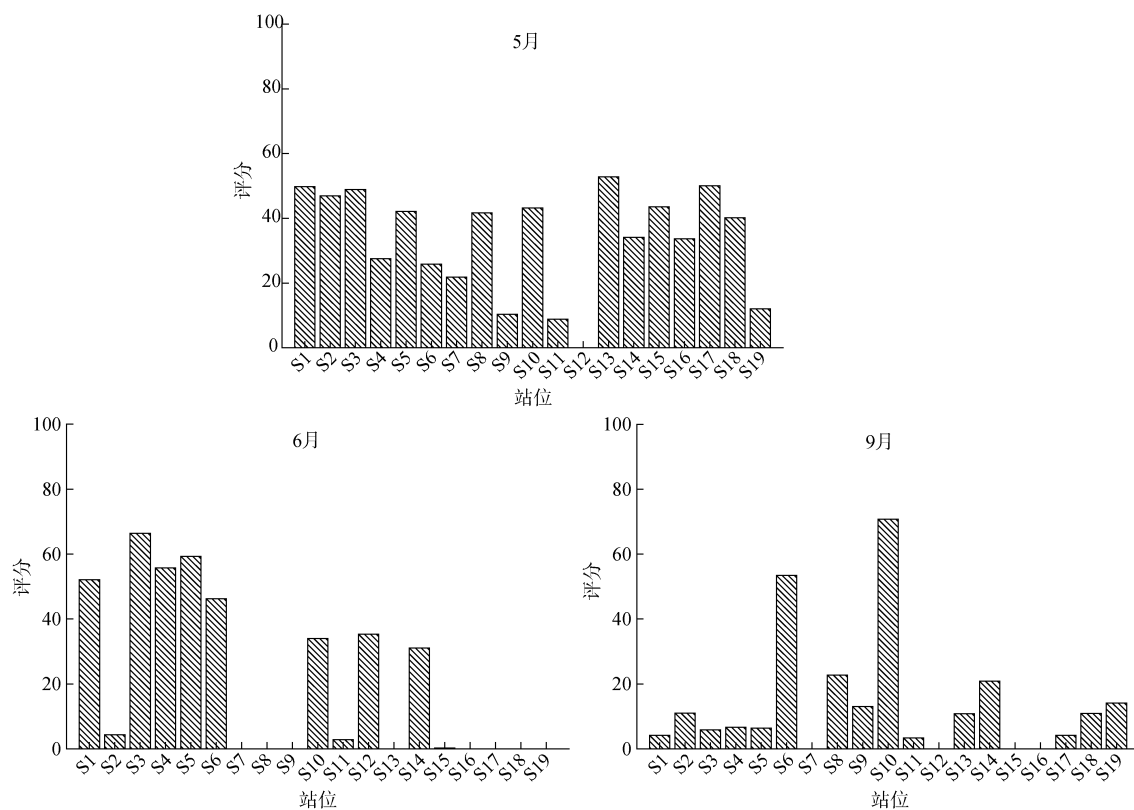


图4 鱼卵5月、6月和9月各站位评分结果

Fig. 4 Rating scores of fish eggs in all stations in May, June, and September

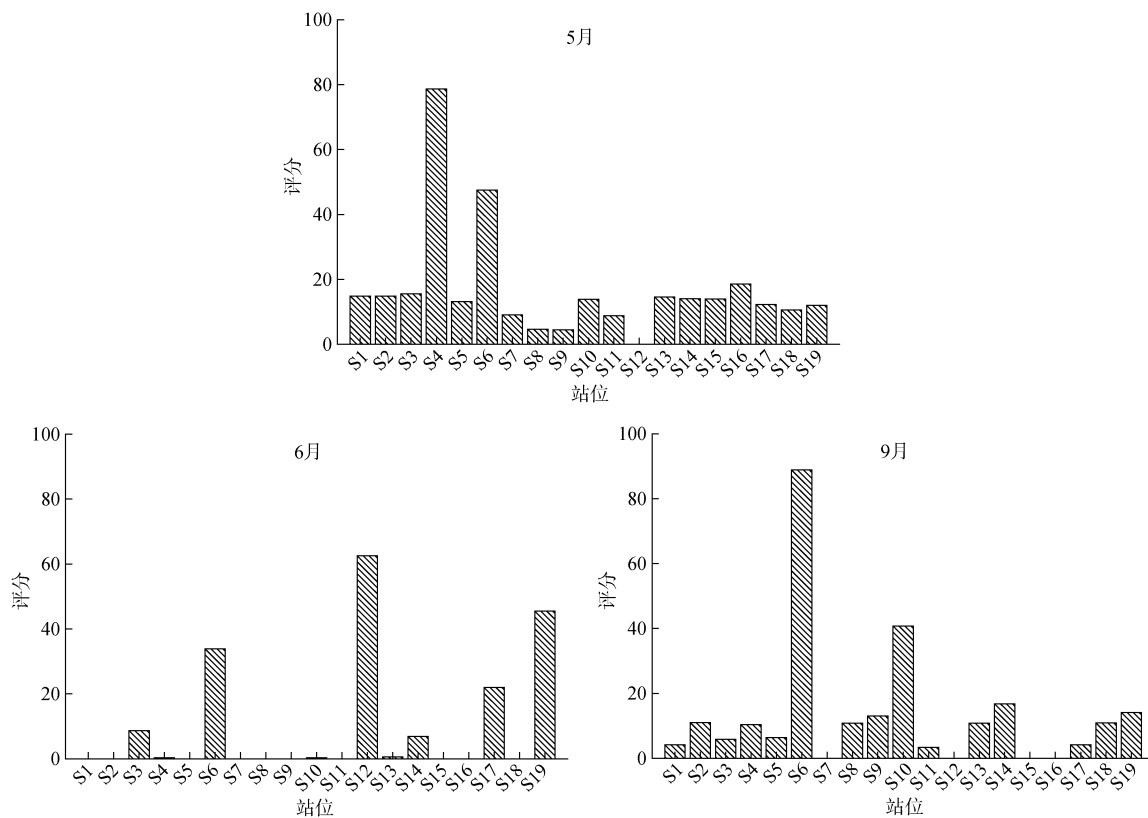


图5 仔稚鱼5月、6月和9月各站位评分结果

Fig. 5 Rating scores of juveniles in all stations in May, June and September

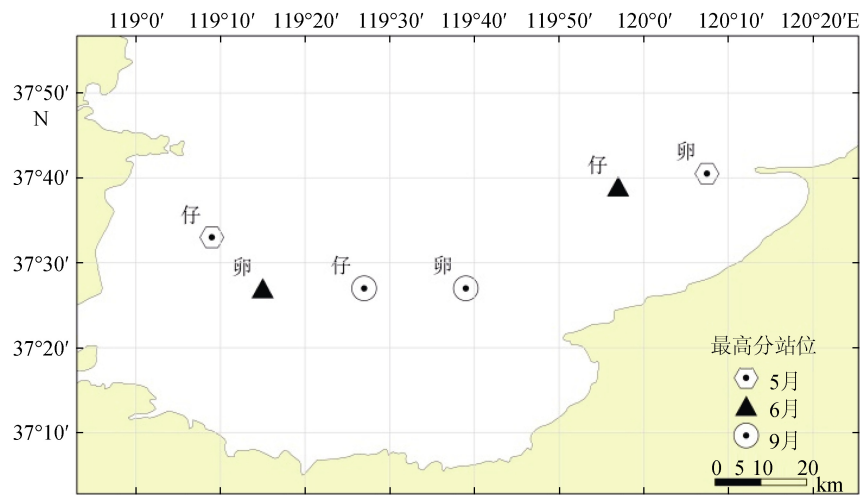


图 6 5 月、6 月和 9 月评分最高站位地理分布

Fig. 6 Geographical distribution of the stations that obtain the highest scores in May, June, and September

指标数量较 5 月和 9 月少 3 个(铵态氮、砷和锑), 基于此做对比分析, 即由于评价指标数量的减少所导致的 6 月评分结果变化。

经统计分析, 6 月各站位评分结果相对于 5 月和 9 月变化情况中, 降低(升高)的站位即由于 6 月评价

指标减少, 其评分结果均低于(高于)5 月和 9 月, 并且降低(升高)的程度自左向右依次递减; 变化不一致的站位即由于 6 月评价指标的减少, 其评分结果相对于 5 月和 9 月的变化不具有一致性(表 2、图 7、图 8)。

表 2 各站位评分由于评价指标减少引起的变化
Tab. 2 Change of scores in all stations as the reduction of evaluation indices

项目	降低站位										升高站位					变化不一致站位			
鱼卵	8	13	17	18	2	10	16	19	9	11	1	5	12	4	3	15	7	14	6
仔稚鱼	4	6	10	2	13	18	5	1	9	14	8	11	17	19	2	16	15	7	3

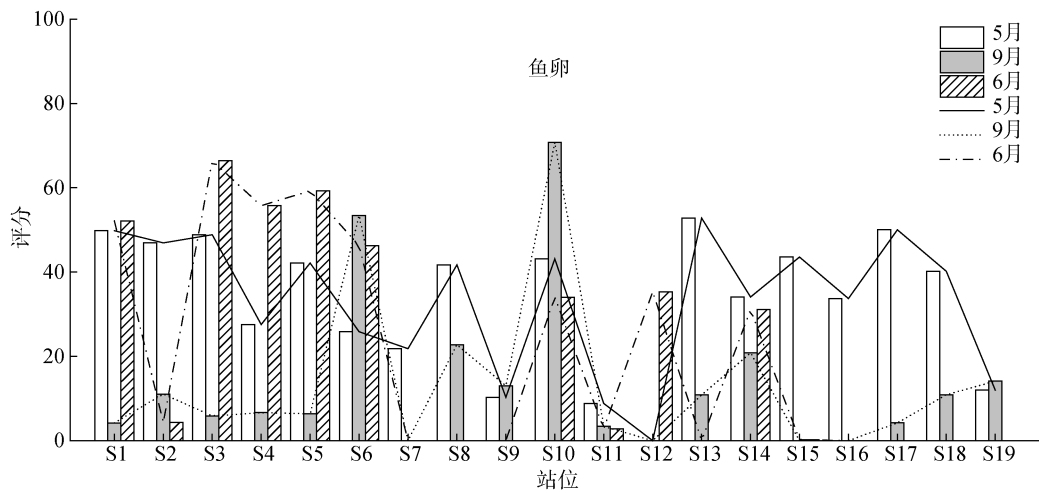


图 7 鱼卵 5 月、9 月和 6 月各站位评价指标数量变化评分结果

Fig. 7 Scores of fish eggs in all stations in May, September, and June as the reduce of evaluation indices

经对比分析, 13、2、10、8 站位评分由于评价指标数量减少出现了较大程度降低, 表明该区域评分结果对铵态氮、砷和锑 3 个指标的敏感度

较高。故此, 针对该区域中铵态氮、砷和锑的实际调查应更加严谨科学, 避免对最终结果造成随机影响。

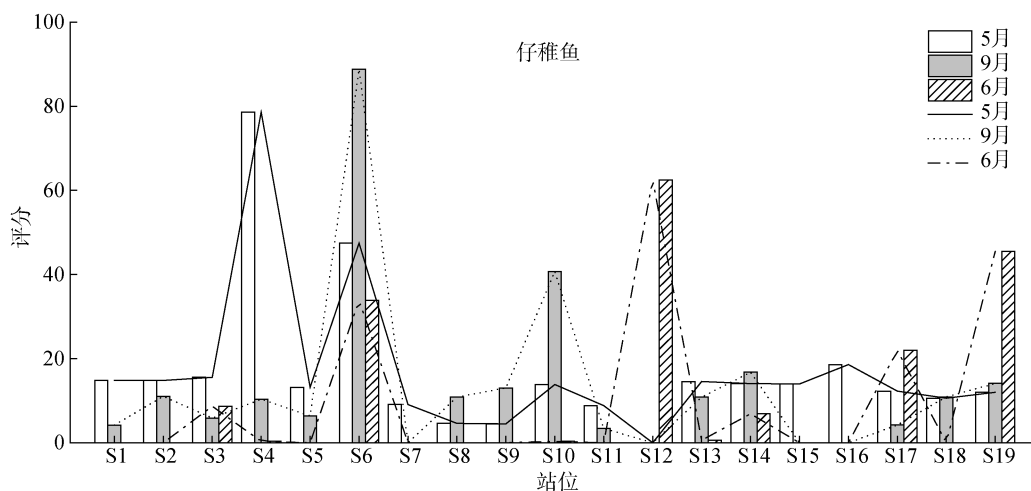


图8 仔稚鱼5月、9月和6月各站位评价指标数量变化评分结果

Fig. 8 Scores of juveniles in all stations in May, September, and June as the reduce of evaluation index

其他站位评分结果并没有由于评价指标数量的减少表现出较为明显的规律性变化,原因有两个:(1)这些站位中的铵态氮、砷和锑含量较低,对评分结果影响不大;(2)铵态氮、砷和锑的权重值较小,指标值轻微的变化对站位评分结果的影响不大。

2.4 层次分析法评估改进

作者通过运用层次分析法评估莱州湾鱼卵、仔稚鱼群落结构特征,分别以不同的标准将生物指标、经济指标和化学指标聚合在一起,作为第一层。第二层中,生物指标选取物种丰富度、物种多样性和物种均匀度;经济指标选取价值和最贵单尾价值;化学指标选取铵态氮、砷和锑。最终评估结果具有一定的科研价值,可为以后相关评估工作提供参考。同时,在以后的研究过程中仍有需要改进的方面:

(1) 调查问卷涉及范围增大,即受访者群体特征多元化,可以得出更全面、客观的评估结果。例如,年龄方面,可以涵盖青年、中年、老年各个年龄段;工作性质方面,可以涵盖政府主管部门工作人员、从事与渔业相关活动者、渔业相关专业学生、海洋旅游主管部门工作者、海洋相关专业科研人员和沿海地区当地居民等领域。

(2) 评价指标增多。生物指标方面,可以增加处于鱼卵、仔稚鱼食物链上下端生物指标数据;人类活动指标方面,可以增加捕捞努力量、增殖放流等相关指标数据;化学指标方面,可以增加pH、溶解氧等指标数据。

3 结论

基于层次分析法对莱州湾鱼卵、仔稚鱼进行评

估,即对2014年5月、6月和9月莱州湾19个站位的鱼卵、仔稚鱼结构特征进行评分,可得出各月最优站位如下,鱼卵方面分别为5月13站位(评分52.81)、6月3站位(评分66.42)、9月10站位(评分70.77);仔稚鱼方面分别为5月4站位(评分78.63)、6月12站位(评分62.51)、9月6站位(评分88.84)。在2014年5月至9月的时间序列上,莱州湾最优区域的分布存在由近岸向中央区域转移的明显趋势。同时,在评估结果方面,评估体系中化学指标的存在与否,莱州湾近岸区域相对于中央区域反应更加敏感。

参考文献:

- [1] 刘慧,方建光,董双林. 莱州湾和桑沟湾养殖海区主要营养盐的周年变动及限制因子[J]. 中国水产科学, 2003, 10(3): 227-234.
Liu Hui, Fang Jianguang, Dong Shuanglin, et al. Annual variation of major nutrients and limiting factors in Laizhou Bay and Sanggou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(3): 227-234.
- [2] 崔毅,马绍赛,李云平. 莱州湾污染及其对渔业资源的影响[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 35-41.
Cui Yi, Ma Shaosai, Li Yunping, et al. Pollution situation in the Laizhou Bay and its effects on fishery resources[J]. Marine Fisheries Research, 2003, 24(1): 35-41.
- [3] 金显仕,邓景耀. 莱州湾春季渔业资源及生物多样性的年间变化[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 6-12.
Jin Xianshi, Deng Jingyao. Yearly variations of fishery resources and biodiversity in Laishou Bay[J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(1): 6-12.
- [4] 邓景耀,叶昌臣,刘永昌. 渤、黄海的对虾及其资源管理[M]. 北京: 海洋出版社, 1990, 58.

- Deng Jingyao, Ye Changchen, Liu Yongchang, et al. Prawns and resource management in Bohai Sea and Yellow Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990, 58.
- [5] 单志欣, 郑振虎, 邢红艳. 渤海莱州湾的富营养化及其研究[J]. 海洋湖沼通报, 2000, 2: 41-46.
- Shan Zhixin, Zheng Zhenhu, Xing Hongyan, et al. Study on eutrophication in Laizhou Bay of Bohai[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2000, 2: 41-46.
- [6] 孙丕喜, 王波, 张朝晖. 莱州湾海水中营养盐分布与富营养化的关系[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(3): 329-335.
- Sun Pixi, Wang Bo, Zhang Chaohui, et al. Relationship between nutrient distributions and eutrophication in seawater of the Laizhou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2006, 24(3): 329-335.
- [7] 胡宁静, 石学法, 刘季花. 莱州湾表层沉积物中重金属分布特征和环境影响[J]. 海洋科学进展, 2011, 29(1): 63-72.
- Hu Ningjing, Shi Xuefa, Liu Jihua, et al. Distributions and impacts of heavy metals in the surface sediments of the Laizhou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2011, 29(1): 63-72.
- [8] 刘金虎, 宋骏杰, 曹亮. 莱州湾表层沉积物中重金属时空分布、污染源及风险评价[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(2): 369-381.
- Liu Jinhu, Song Junjie, Cao Liang, et al. Spatial and temporal distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in the surface sediments of Laizhou Bay[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2015, 10(2): 369-381.
- [9] 吴斌, 宋金明, 李学刚. 黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征[J]. 环境科学, 2013, 34(4): 1324-1332.
- Wu Bin, Song Jinming, Li Xuegang, et al. Environmental characteristics of heavy metals in surface sediments from the Huanghe Estuary[J]. Environmental Science, 2013, 34(4): 1324-1332.
- [10] 赵明明, 王传远, 孙志高. 黄河尾闾及近岸沉积物中重金属的含量分布及生态风险评价[J]. 海洋科学, 2016, 40(1): 68-75.
- Zhao Mingming, Wang Chuanyuan, Sun Zhigao, et al. Concentration, distribution, and ecological risk assessment of heavy metals in sediments from the tail reaches of the Yellow River Estuary[J]. Marine Sciences, 2016, 40(1): 68-75.
- [11] 缪雄谊, 叶思源, 郝玉培, 等. 黄河三角洲表层土壤重金属环境质量评价[J]. 海洋科学, 2016, 40(2): 65-76.
- Miao Xiongyi, Ye Siyuan, Hao Yupei, et al. Assessment of heavy metal contamination in the surface soil of the Yellow River Delta, China[J]. Marine Sciences, 2016, 40(2): 65-76.
- [12] 宋秀凯, 刘爱英, 杨艳艳. 莱州湾鱼卵、仔稚鱼数量分布及其与环境因子相关关系研究[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 378-385.
- Song Xiukai, Liu Aiyong, Yang Yanyan. Distributing of ichthyoplankton and the correlation with environmental factors in Laizhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(3): 378-385.
- [13] 万瑞景, 姜言伟. 渤海硬骨鱼类鱼卵和仔稚鱼分布及其动态变化[J]. 中国水产科学, 1998, 5(1): 44-51.
- Wan Ruijing, Jiang Yanwei. The distribution and variation of eggs and juveniles of osteichthyes in the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(1): 44-51.
- [14] 万瑞景, 姜言伟. 渤、黄海硬骨鱼类鱼卵与仔稚鱼种类组成及其生物学特征[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(4): 290-297.
- Wan Ruijing, Jiang Yanwei. The species and biological characteristics of the eggs and juveniles of osteichthyes in The Bohai Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2000, 9(4): 290-297.
- [15] 王爱勇, 万瑞景, 金显仕. 渤海莱州湾春季鱼卵、仔稚鱼生物多样性的年代际变化[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(1): 19-24.
- Wang Aiyong, Wan Ruijing, Jin Xianshi. Decadal variations of ichthyoplankton biodiversity in spring in Laizhou Bay of the Bohai Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(1): 19-24.
- [16] Saaty T L. Decision making with dependence and feedback: the analytic network process[M]. Pittsburgh: RWS Publications, 2001.
- [17] Saaty T L. How to make a decision: the analytic hierarchy process[J]. European Journal of Operational Research, 1990, 48(1): 9-26.
- [18] Saaty T L. The analytic hierarchy process[M]. New York, USA: McGraw-Hill, 1980.
- [19] Saaty T L. Decision making for leaders: the analytic hierarchy process in a complex world[M]. Pittsburgh, PA: RWS Publications, 1994.
- [20] Singh R P, Nachtnebel H P. Analytical hierarchy process (AHP) application for reinforcement of hydropower strategy in Nepal[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 55: 43-58.
- [21] Kahraman C, Cebeci U, Ruan D. Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey[J]. International Journal of Production Economics, 2004, 87(2): 171-184.
- [22] 周家艳, 李冰, 黄夏银. 基于层次分析法的生态敏感海岛开发决策研究——以江苏沿海地区发展规划环评为例[J]. 海洋科学, 2012, 36(5): 18-23.

- Zhou Jiayan, Li Bing, Huang Xiayin, et al. Development decision of ecologically sensitive island based on analytic hierarchy process——A case on environmental impact assessment of development planning in Jiangsu coastal areas[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(5): 18-23.
- [23] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- Zhao Huanchen, Xu Shubai, He Jinsheng. Analytic hierarchy process[M]. Beijing: Science Press, 1986.
- [24] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
- Wang Lianfen, Xu Shubai. Introduction to the analytic hierarchy process[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1990.

Evaluating the fish eggs and juveniles in the Laizhou Bay using analytical hierarchy process

PAN Guang-chen¹, QIU Sheng-yao¹, ZHANG Hua², LIU Xin²

(1. School of Ocean, Yantai University, Yantai 264003, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Received: Aug. 28, 2016

Key words: analytic hierarchy process; Laizhou Bay; fish eggs; juveniles

Abstract: The community structure characteristics of fish eggs and juveniles were evaluated using analytical hierarchy process. This study aims to provide the reference and support for the protection of the ecological environment and the reasonable utilization of fishery resources in the Bohai Sea. The survey was conducted on the fish eggs and the juveniles in the Laizhou Bay in May, June, and September 2014. The hierarchy analysis model was composed of three types of indices such as biological index, economic index, and chemical index. The scores of all stations were calculated. Results demonstrated that the distribution of the optimal region showed an obvious trend from the inshore area to the central area in the Laizhou Bay from summer to autumn in 2014 and that the inshore area was more sensitive than the central area in the Laizhou Bay when the chemical indicator in the evaluation system was considered or not.

(本文编辑: 谭雪静)