

东山湾渔业资源承载力评价指标体系构建及评估

叶孙忠^{1,2}, 罗冬莲^{1,2}, 杨芳^{1,2}, 马超^{1,2}, 陈红梅^{1,2}

(1. 福建省水产研究所,福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室,福建 厦门 361013;2. 福建省海洋生物资源开发利用协同创新中心,福建 厦门 361013)

摘要:本文在《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》的基础上,结合渔业资源的特有属性和东山湾的实际情况,探讨并优化完善了东山湾渔业资源承载力评价技术指标体系和方法。根据 2016 年春季(4 月)和秋季(11 月)东山湾游泳动物和鱼卵、仔稚鱼调查资料,结合 2012~2013 年的调查数据进行综合评估,结果表明东山湾渔业资源承载状况已临界超载。针对目前东山湾渔业资源承载现状,提出了进一步加强渔业资源监测调查、生态环境保护 and 监督管理等预警措施,旨在为东山湾渔业资源可持续利用提供理论依据,为进一步推进海洋资源承载力评估业务化和其他海湾的渔业资源承载力评价提供借鉴和技术支持。

关键词:渔业资源;承载力;评价指标;东山湾

中图分类号:X171 文献标识码:A 文章编号:1007-6336(2018)04-0493-06

Constructing and evaluating an assessment indices system for fishery resources carrying capacity in Dongshan bay

YE Sun-zhong^{1,2}, LUO Dong-lian^{1,2}, YANG Fang^{1,2}, MA Chao^{1,2}, CHEN Hong-mei^{1,2}

(1. Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China; 2. Fujian Collaborative Innovation Center for Exploitation and Utilization of Marine Biological Resources, Xiamen 361013, China)

Abstract:Based on the trial guidelines (2016 edition) to construct a monitoring and forecasting technology and method for resources and environment carrying capacity, combining the distinctive attribute of fishery resources and the practical situation of Dongshan bay, an assessment indices system and method for fishery resources carrying capacity in Dongshan bay has been modified. Based on the investigation on nekton, fish eggs, fish larvae and juveniles in the spring (April) and autumn (November) of 2016, combining the investigation data from 2012 to 2013 to make comprehensive assessments. The result showed that the fishery resources carrying situation in Dongshan bay has been critical. Therefore, we proposed forewarning measures, such as further strengthen monitoring survey of fisheries resources, ecological environmental protection and supervision and management, in order to provide the theory basis for sustainable utilization of fishery resources in Dongshan bay, furthermore, to provide reference and technical support for further promoting the operational marine resources bearing capacity assessment and fishery resources carrying capacity evaluation of other bays.

Key words: fishery resources; carrying capacity; assessment indices; Dongshan bay

渔业资源是指天然水域中具有经济、社会和生态价值,可以通过渔业开发利用的水生经济动

收稿日期:2018-02-15,修订日期:2018-04-28

基金项目:国家海洋监测中心承载力监测预警技术支撑研究项目(SOA-REBC-2016-05);福建省海洋与渔业结构调整项目(2017HYJC06);福建省省属公益类科研院所基本专项(2017R1003-1,2018R1003-6);国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201305043-4)

作者简介:叶孙忠(1970-),男,福建政和人,副研究员,学士,主要研究方向为渔业资源及生物学、生态学,E-mail:ysz1@sina.com

通讯作者:罗冬莲(1969-),女,福建永定人,教授级高工,学士,主要研究方向为海洋生态环境,E-mail:295807046@qq.com

植物的总体。渔业资源量和生物多样性是渔业生产可持续发展的物质基础。长期以来由于粗放型、掠夺式的捕捞方式给近海渔业资源造成极大的压力,特别是上世纪九十年代以后,随着沿海地区人口的快速增长和海洋开发力度不断加大,造成沿岸海域污染加重、渔业资源衰退严重、生物多样性明显降低等问题,严重影响近海渔业资源的可持续发展利用^[1-2]。东山湾三面为山丘环抱,口小腹大,是一个典型的亚热带河口半封闭型海湾^[3],渔业生态系统相对稳定,绝大多数渔业生物均具有集群性的生殖、索饵和越冬洄游习性,是多种经济鱼类、虾蟹类和头足类等栖息、繁殖和生长的良好场所。随着东山湾周围建设和临海工业的发展,人口不断增长,海域开发利用不断加大,对湾内海域生态影响也不断增大,主要经济鱼类的繁殖场与栖息场所受到破坏,渔业资源结构发生了显著变化^[4-7]。因此,迫切需要开展东山湾渔业资源承载力研究,正确认识和评价渔业资源承载能力与区域可持续发展的关系,并对环湾海洋开发活动提出预警具有重要的指导意义。

渔业资源承载力是海洋可持续发展评价的重要依据和前提条件,渔业资源承载力评价是为了保证人类对海洋生物生态系统和渔业资源的最大限度的持续利用,使天然水域能为人类提供更多的优质蛋白。目前,国内对近海渔业资源承载力如何进行科学客观评估尚在探索研究中,韩增林等^[8]从养活人口角度对辽宁海洋水产资源承载力进行评价,霍军^[9]对近海渔业资源承载力的概念、内涵及特征进行了阐述,刘述锡等^[10]对长山群岛海域生物资源承载力开展了评价指标体系研究,杨洋等^[11]利用最大持续产量根据统计学方法构建了浙江省海洋渔业资源承载力评价模型并评估了海洋渔业资源承载力状况。国家发改委也明确指出资源环境承载能力监测预警机制具有开创性、探索性,评价方法技术上具有相当难度,评价技术方法也有待于进一步优化,而渔业资源承载力评估更需长期的调查数据和专业技术支撑。本文在《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》^①的基础上,结合渔业资源特有属性及东山湾实际情况,完善补充并构建了东山湾渔业资源承载力评价技术指标体系和方法,并利用东山湾2016年以及2012~2013年调查数据和资料,评估了东山湾渔业资源承载力现状,旨在为优化和

完善海洋资源承载力评价指标体系,进一步推进海洋资源承载力评估业务化,以及其他海湾的渔业资源承载力评价提供借鉴和技术支撑,为东山湾环湾社会经济发展和渔业资源可持续利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文评估所用数据主要是根据2016年春季(4月)和秋季(11月)在东山湾开展的游泳动物和鱼卵、仔稚鱼调查资料,结合2012~2013年的调查数据进行综合分析,同时对评价指标数据进行标准化处理。

1.2 评价指标选取原则

评价指标的选取应以科学、客观、实用为原则,应具有较好的稳定性、代表性、易量化、可比性、资料易获取等^[12-13],同时充分考虑评价指标的独立性和内在联系性,能够综合反映渔业资源在不同发展阶段的承载能力以及发展趋势。为全面反映东山湾渔业资源客观实际,将能够表征渔业资源承载状况的指标尽可能全面列出,经分析、筛选出与渔业资源承载力密切相关评价指标。

1.3 评价指标体系构建

1.3.1 指标选取与赋值确定

渔业资源具有再生性、洄游性、共享性、多样性、地域差异性、波动性等属性^①,影响渔业资源承载力的因素很多,如渔业资源自身因素、环境因素、社会现状因素等。环境因素和社会现状因素在人类社会的影响下不断变化,并对渔业资源变化有着重大的作用和影响,但是这些作用和影响也能通过渔业资源本身属性的变化来表达和体现,如物种数减少、多样性降低、小型化、低龄化、渔获量下降等。

根据指标选取原则和渔业资源特有属性,通过整理分析大量的长时间序列的渔业统计、渔业资源监测和调查数据,对相关评价指标进行筛选。本文剔除了《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》中海洋渔业资源评价游泳动物指数中渔获物经济种类和渔获物营养级状况指标。目前渔获物经济种类在国内没有统一的标准或目录,

① 《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》[C]. 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2016

不同时期、不同地域会有不同的选择;渔获物营养级是一个很好的表征区域海洋生态系统结构和功能稳定性的因子,但国内研究起步晚,主要是研究特定海域生态系统的动态变化^[14-20],研究基础比较薄弱,没有长期的基础数据积累,另一方面渔获物营养级取决于渔获物食性和食物组成,其受到渔获种类、个体大小等因素的影响很大,同时还需掌握营养级在种间和种内的变化规律,没有深入研究是难以弄清渔获物营养级状况的。种类组成是形成生物群落结构和功能的基础,是生物群落的最重要特征之一,渔获物种类变化情况则表征了区域渔业生物群落组成变化情况。群落多样性是群落中物种数和各物种个体数构成群落结构特征的一种表示方法,多性性指数是把物种数和均匀度结合起来考虑的统计量,是衡量渔业生物群落结构稳定性的重要指标^[21-22]。在长期捕捞压力以及海洋环境的恶化下,许多传统的主要渔业生物种类处于衰退甚至枯竭的状态,渔获量将发生显著变化,主要渔获物平均资源密度指数变化情况是评价渔业资源的重要指标。鱼卵仔稚鱼是鱼类早期生活史的一个重要环节,其种类组成和数量决定了渔业资源补充群体结构和数量,摸清鱼卵仔稚鱼的种类和数量,对于掌握区域海域鱼类资源现状,促进渔业资源的可持续利用具有较为重要的参考价值。因此,本文完善补充了《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》中海洋渔业资源评价相关指标,选取了渔获物种类、群落多样性指数、主要渔获物平均资源密度、鱼卵密度和仔稚鱼密度作为评价指标。

渔业资源的可持续利用就是人类的开发利用强度不超过渔业资源的可承载能力或自我更新能力,承载赋值就是渔业资源各评价指标在这种状态下的数值。渔业资源利用在不同阶段,各个评价指标对资源可持续利用的重要性是不一样的,权重会发生改变,而在不同的区域,由于自然条件、社会经济发展水平不同,指标赋权也会发生变化。根据笔者多年开展渔业资源及其生物学、生态学研究,通过查阅大量文献资料和征询相关专家和管理部门意见,根据渔业资源本身的特有属性及东山湾实际情况确定各指标赋值。

1.3.2 评价方法及赋值

根据所选取的评价指标,参考《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》构建了东山湾

渔业资源承载力评价指标体系(图 1),采用渔业资源综合承载指数评价指标,通过游泳动物指数和鱼卵仔稚鱼指数加权平均得到。

(1) 鱼卵仔稚鱼指数 ($F1$)

① 鱼卵密度变化指数 (FE)

根据近海渔业资源监测调查值与近三年的平均值的差值,得到鱼卵密度变化幅度(ΔFE)。通常,当 ΔFE 与近三年平均值之比下降 $>30\%$ 时,鱼卵密度显著下降, FE 赋值为 1;当 ΔFE 与近三年平均值之比下降介于 $10\% \sim 30\%$ 时,鱼卵密度下降, FE 赋值为 2;当 ΔFE 与近三年平均值之比下降 $\leq 10\%$ 或增加时,鱼卵密度基本稳定或增加, FE 赋值为 3。

② 仔稚鱼密度变化指数 (FL)

根据近海渔业资源监测调查值与近三年的平均值的差值,得到仔稚鱼密度变化幅度(ΔFL)。通常,当 ΔFL 与近三年平均值之比下降 $>30\%$ 时,仔稚鱼密度显著下降, FL 赋值为 1;当 ΔFL 与近三年平均值之比下降介于 $10\% \sim 30\%$ 时,仔稚鱼密度下降, FL 赋值为 2;当 ΔFL 与近三年平均值之比下降 $\leq 10\%$ 或增加时,仔稚鱼密度基本稳定或增加, FL 赋值为 3。

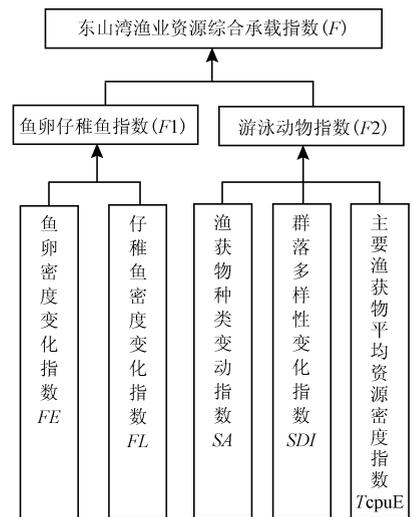


图 1 东山湾渔业资源承载力评估体系

Fig. 1 Assessment index frame of fisheries resources carrying capacity of Dongshan bay

③ 鱼卵仔稚鱼指数 ($F1$)

鱼卵仔稚鱼指数 $F1 = FE \times 0.2 + FL \times 0.8$

式中: $F1$ 为鱼卵仔稚鱼指数; FE 为鱼卵密度, FL 为仔稚鱼密度。通常,当 $F1 \geq 2.5$ 时,鱼卵

仔稚鱼指数基本稳定; $F1$ 介于 1.5 ~ 2.5 时, 鱼卵仔稚鱼指数呈下降趋势; $F1 < 1.5$ 时, 鱼卵仔稚鱼指数显著下降。

(2) 游泳动物指数 ($F2$)

① 渔获物种类变化指数 (SA)

根据近海渔业资源监测调查获取的渔获物种类数与近三年渔获种类的平均值比较。当渔获物种类数与近三年平均值比较减少大于 20% 时, 渔获物种类数显著下降, SA 赋值为 1; 当渔获物种类数与近三年平均值比较减少介于 5% ~ 20% 时, 渔获物种类数下降, SA 赋值为 2; 当渔获物种类数与近三年平均值比较减少小于 5% 时, 渔获物种类稳定, SA 赋值为 3。

② 群落多样性变化指数 (SDI)

根据近海渔业资源监测调查数据计算种类多样性指数 (H')。当多样性指数平均值小于 1.5 时, 种类多样性指数较低, SDI 赋值为 1; 当多样性指数平均值介于 1.5 ~ 2.5 时, 种类多样性指数中等, SDI 赋值为 2; 当多样性指数平均值大于 2.5 时, SDI 赋值为 3。

③ 主要渔获物平均资源密度变化指数 (T_{CPUE})

根据近海渔业资源监测调查主要渔获物平均资源密度指数与近三年渔获物平均资源密度指数的平均值比较。

主要渔获物平均资源密度变化指数 $T_{CPUE} = (W_{CPUE} + N_{CPUE}) / 2$

式中: T_{CPUE} 为渔获重量平均资源密度指数和渔获数量平均资源密度指数变化率平均值; W_{CPUE} 为渔获重量平均资源密度指数与近三年渔获重量平均资源密度指数平均值变化率; N_{CPUE} 为渔获数量平均资源密度指数与近三年渔获数量平均资源密度指数平均值变化率。当 T_{CPUE} 减少大于 30% 时, 渔获量显著下降, T_{CPUE} 赋值为 1; 当 T_{CPUE} 减少介于 10% ~ 30% 时, 渔获量下降, T_{CPUE} 赋值为 2; 当 T_{CPUE} 减少小于 10% 时, 渔获量稳定, T_{CPUE} 赋值为 3。

④ 游泳动物指数 ($F2$)

游泳动物指数 ($F1$) 的计算公式如下:

$$F2 = (SA + SDI + T_{CPUE}) / 3$$

式中: $F2$ 为游泳动物指数; SA 为渔获物种类变化指数; SDI 为群落多样性变化指数; T_{CPUE} 为主要渔获物平均资源密度变化指数。当 $F2 \geq 2.5$

时, 游泳动物指数基本稳定; 当 $F2$ 介于 1.5 ~ 2.5 时, 游泳动物指数呈下降趋势; 当 $F2 < 1.5$ 时, 游泳动物指数显著下降。

(3) 渔业资源综合承载指数 (F)

对鱼卵仔稚鱼指数 ($F1$) 和游泳动物指数 ($F2$) 的单指标评估结果加权平均得出渔业资源综合承载指数 (F), 渔业资源综合承载指数 $F = F1 \times 0.4 + F2 \times 0.6$ 。

1.3.3 承载等级

根据渔业资源综合承载指数, 将评价结果划分为超载、临界和可载 3 种类型。通常, 当 $F < 1.5$ 时, 渔业资源超载; 当 F 介于 1.5 ~ 2.5 时, 渔业资源临界超载; 当 $F \geq 2.5$ 时, 渔业资源可载。

2 承载力评估结果

2.1 鱼卵仔稚鱼指数

根据调查, 东山湾海区 2016 年春秋两季调查鱼卵数量平均为 6.402 ind/m³, 仔稚鱼数量平均为 0.796 ind/m³。而 2012 ~ 2013 年春秋两季调查鱼卵数量平均为 1.540 ind/m³, 仔稚鱼数量平均为 0.995 ind/m³。

2016 年调查鱼卵密度变化的差值 (ΔFE) 为 4.862, 与 2012 ~ 2013 年比较, 鱼卵密度没有下降而是增加, 鱼卵密度变化指数 FE 赋值为 3; 2016 年调查仔稚鱼密度变化的差值 (ΔFL) 为 -0.199, ΔFL 与 2012 ~ 2013 年比较下降 20%, 介于 10% ~ 30% 之间, 仔稚鱼密度下降, 仔稚鱼密度变化指数 FL 赋值为 2。

鱼卵仔稚鱼指数 $F1 = FE \times 0.2 + FL \times 0.8 = 2.20$ 。

2.2 游泳动物指数

根据 2016 年春季、冬季调查, 渔获游泳动物分别为 59 种和 108 种, 两次调查共渔获游泳动物种类 128 种, 与 2012 ~ 2013 年春秋两季调查合计 131 种相比较, 本次调查获取的渔获物种类数减少 3 种, 减少值为 2.29%, 小于 5%, 游泳动物渔获种类相对稳定, 渔获物种类变化指数 SA 赋值为 3。

2016 年东山湾调查海区春季游泳动物种类多样性指数 H' 分布范围为 1.13 ~ 2.83, 平均为 1.69, 秋季分布范围为 1.86 ~ 3.01, 平均为 2.67。两季多样性指数 H' 平均值为 2.18, 介于 1.5 ~ 2.5 之间, 群落多样性变化指数 SDI 赋值为 2。

2016年东山湾春季渔获重量平均密度指数和渔获数量平均密度指数分别为 214.91 kg/km^2 和 $12.51 \times 10^3 \text{ ind./km}^2$, 秋季渔获重量平均密度指数和渔获数量平均密度指数分别为 265.19 kg/km^2 和 $12.02 \times 10^3 \text{ ind./km}^2$, 两季渔获重量平均密度指数和渔获数量平均密度指数分别为 240.05 kg/km^2 和 $12.26 \times 10^3 \text{ ind./km}^2$; 2012~2013年春季渔获重量平均密度指数和渔获数量平均密度指数分别为 372.68 kg/km^2 和 $36.04 \times 10^3 \text{ ind./km}^2$, 秋季渔获重量平均密度指数和渔获数量平均密度指数分别为 725.03 kg/km^2 和 $16.68 \times 10^3 \text{ ind./km}^2$, 两季渔获重量平均密度指数和渔获数量平均密度指数分别为 548.86 kg/km^2 和 $26.36 \times 10^3 \text{ ind./km}^2$ 。

渔获重量平均资源密度指数平均值变化率 W_{CPUE} 为 56.26%, 渔获数量平均资源密度指数平均值变化率 N_{CPUE} 为 54.40%, 主要渔获物平均资源密度变化指数 T_{CPUE} 为 55.33%, 大于 30%, 渔获量显著下降, 主要渔获物平均资源密度变化指数 T_{CPUE} 赋值为 1。

游泳动物指数 $F2 = (SA + SDI + T_{\text{CPUE}}) / 3 = 2.00$, 介于 1.5~2.5 之间, 表明游泳动物指数呈下降趋势。

2.3 渔业资源综合承载指数

由公式 $F = F1 \times 0.4 + F2 \times 0.6$ 计算, 东山湾渔业资源综合承载指数 F 值为 2.08。

3 结论与分析

根据东山湾渔业资源综合承载指数评估结果, 目前东山湾渔业资源承载状况为临界超载。

科学合理的评价指标体系构建是渔业资源承载力评价的基础, 本文在《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》的基础上, 结合渔业资源的特有属性和东山湾的实际情况, 剔除了海洋渔业资源评价游泳动物指数中渔获物经济种类和渔获物营养级状况指标, 主要是由于渔获物经济种类没有统一的标准, 渔获物营养级状况指标量化数据较难获取。渔获物种类组成情况、群落多样性指数和主要渔获物平均资源密度指数可从时间、空间角度反映海域渔业生态完整性和资源现状, 能定量描述人类活动干扰与渔业生物特征之间的关系及影响程度, 广泛应用于生态系统健康评价^[23-25], 对于衡量海域渔业生物群落结构的变

化具有十分重要意义, 为渔业资源可持续开发、利用和保护提供重要的依据, 同时该评价指标数据易获取, 对比性强。自然海域中鱼卵仔稚鱼数量的多寡是衡量渔业资源补充量及其变动情况的重要指标, 东山湾是多种重要经济鱼类产卵繁育场所, 具有较高的鱼卵、仔稚鱼密度, 特别是春、夏季, 产卵的种类具有明显的季节洄游习性, 是福建沿岸重要的产卵场之一^[26], 因此保留了鱼卵密度和仔稚鱼密度作为评价指标。评价结果也表明, 本文构建的渔业资源承载力评价指标体系评价结果与东山湾海洋渔业资源实际状况相符, 是可行的。

从各指标的承载结果看, 2016年东山湾渔业资源承载评价指标鱼卵密度指数和渔获物种类变化指数相对稳定, 而仔稚鱼密度有所下降, 渔业生物群落多样性指数降低, 主要渔获物平均资源密度下降较为明显。这与这些年来东山湾周边建设和临海工业的发展, 人口不断增长, 海洋开发力度不断加大, 生态环境日趋恶化有很大的关系。东山湾渔业资源结构基本以中小型种类为主, 多数种类生命周期短、生长速度快、营养层次较低, 承受外界干扰的能力较低, 特别是低营养层次渔业生物种类和数量的增加很可能降低渔业生态的可塑性, 并导致渔业生态系统结构和功能的改变^[27]。渔业资源是动态变化的, 开展渔业资源承载力研究时, 各评价指标在时间序列的纵向比较尤显重要, 需要长期跟踪调查和监测数据支持。另一方面, 承载阈值是构建资源环境承载能力监测预警体系的关键因子, 针对某一海域渔业资源的可持续利用水平是逐步好转还是逐步下降, 其评价指标赋值及承载阈值的确定必须符合渔业管理目标的需要, 而如何确定指标赋值及承载阈值是当前研究重点和难点问题^[28]。

随着东山湾周边人口数量和临海产业规模的进一步发展, 渔业资源所能承载的压力是有限的, 所能支撑的人口规模和临海产业规模也是有限的。针对东山湾渔业资源已临界超载的现实, 为了促进东山湾渔业资源的可持续开发利用, 提出如下管理预警对策。一是进一步完善监督管理机制。目前在东山湾从事捕捞的作业主要有张网、流刺网和笼壶作业等, 其中张网对渔业资源幼鱼幼体的损害很大, 特别是一些渔民为获取更多利益, 往往不惜以破坏渔业资源和生态为代价, 加大

网具规模,缩小网目尺寸,甚至违法使用电捕等作业,极大破坏了渔业资源,特别是幼鱼幼体。因此,必需加强监督管理,特别是在漳江口等重要渔业水域,加强对传统渔业资源的繁殖区和栖息地监督保护。二是加强对东山湾渔业资源的监测调查。科学的数据是渔业资源承载力评价的基础,需要长时间序列的调查数据支持,也需要政府长期的科研经费投入,这对渔业资源承载力预警研究具有深远的意义。三是加强海洋生态环境保护和生态建设。生态环境保护是关系到海洋渔业资源可持续发展的大事,要增强全社会的海洋环境保护和渔业资源可持续利用意识,加大对红树林和珊瑚礁保护区的保护,临海开发建设必需严格按国家有关环保法规、政策办事,做到建设与环境同步发展,继续积极开展渔业资源增殖放流活动,进一步加强东山湾渔业水域生态修复和海洋牧场建设的力度,大力鼓励与扶持人工鱼礁建设,为渔业资源繁衍生息提供一个良好的栖息环境。

随着人类活动对海湾渔业生态系统的干扰程度日益增强,如何定量评价各种影响因素对渔业资源的影响程度仍存在许多困难。

参考文献:

[1] 郑元甲,陈雪忠,程家骅,等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海:上海科学技术出版社,2003.

[2] 王金辉,黄秀清,刘阿成,等. 长江口及邻近水域的生物多样性变化趋势分析[J]. 海洋通报,2004,23(1):32-39.

[3] 中国海湾志编纂会. 中国海湾志·第八分册·福建省南部海湾[M]. 北京:海洋出版社,1993.

[4] 张静,陈永俊,宋普庆,等. 福建东山湾游泳动物群落物种组成及其多样性[J]. 海洋渔业,2013,35(1):15-23.

[5] 黄轶. 东山湾鱼类组成及其季节变动[J]. 福建水产,1999(2):55-61.

[6] 卢振彬. 福建东山岛海域游泳生物生态和资源评析[J]. 海洋学报,1996,18(5):103-109.

[7] 吴煌荣. 福建东山湾渔业资源现状调查研究[J]. 渔业研究,2016,38(2):112-125.

[8] 韩增林,狄乾斌,刘锴. 辽宁省海洋水产资源承载力与可持续发展探讨[J]. 海洋开发与管理,2003,20(2):52-57.

[9] 霍军. 近海渔业资源承载力的特征及评估指标体系初探[C]//2009中国海洋论坛论文集. 青岛:中国海洋大学出版社,2009:251-258.

[10] 刘述锡,崔金元. 长山群岛海域生物资源承载力评价指标体系研究[J]. 中国渔业经济,2010,28(2):86-91.

[11] 杨洋,刘志国,何彦龙,等. 基于非平衡产量模型的海洋渔业资源承载力评估-以浙江省为例[J]. 海洋环境科学,2016,35(4):534-539.

[12] 苗丽娟,王玉广,张永华,等. 海洋生态环境承载力评价指标体系研究[J]. 海洋环境科学,2006,25(3):75-77.

[13] 刘锦怡,陈斯典,江天久. 海洋生态环境承载力研究——以深圳东部海域为例[J]. 海洋环境科学,2017,36(4):560-565.

[14] ELTON C. Animal ecology[M]. London:Sidgwick and Jackson Publication,1927.

[15] LINDEMAN R L. The trophic-dynamic aspect of ecology[J]. Ecology,1942,23(4):399-417.

[16] PREISSER E L. Trophic Structure[A]. In:Jorgensen S E, Fath B D eds. Encyclopedia of Ecology[M]. Oxford:Elsevier press B. V.,2008,4:3608-3616.

[17] 丁琪,陈新军,李纲,等. 基于渔获统计的西北太平洋渔业资源可持续利用评价[J]. 资源科学,2013,35(10):2032-2040.

[18] 朱国平,张衡,王家樵,等. 大西洋金枪鱼渔业平均营养级的长期变动[J]. 生态科学,2009,28(2):97-101.

[19] PAULY D, CHRISTENSEN V, DALSGAARD J, et al. Fishing down marine food webs[J]. Science,1998,279(5352):860-863.

[20] PAULY D, PALOMARES M L, FROESE R, et al. Fishing down Canadian aquatic food webs[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science,2001,58(1):51-62.

[21] 乔延龙,林昭进,邱永松. 北部湾秋、冬季渔业生物群落结构特征的变化[J]. 广西师范大学学报(自然科学版),2008,26(1):108-112.

[22] WALSH M R, MUNCH S B, CHIBA S, et al. Maladaptive changes in multiple traits caused by fishing: impediments to population recovery[J]. Ecology Letters,2006,9(2):142-148.

[23] MOUILLOT D, LAUNE J, TOMASINI J A, et al. Assessment of coastal lagoon quality with taxonomic diversity indices of fish, zoobenthos and macrophyte communities[J]. Hydrobiologia,2005,550(1):121-130.

[24] 王备新,杨莲芳,刘正文. 生物完整性指数与水生态系统健康评价[J]. 生态学杂志,2006,25(6):707-710.

[25] 裴雪皎,牛翠娟,高欣,等. 应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康[J]. 生态学报,2010,30(21):5736-5746.

[26] 张静,宋普庆,陈永俊,等. 福建东山湾鱼卵、仔稚鱼种类组成及其丰度时空分布[J]. 福建水产,2013,35(1):1-7.

[27] RAPPORT D J, COSTANZAC R, MCMICHAELD A J. Assessing ecosystem health[J]. Trends in Ecology & Evolution,1998,13(10):397-402.

[28] 杨正先,张志锋,韩建波,等. 海洋资源环境承载能力超载阈值确定方法探讨[J]. 地理科学进展,2017,36(3):313-319.