

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.17079

黄河口及其邻近水域鱼类生物完整性评价

张芮¹, 徐宾铎¹, 薛莹¹, 张崇良¹, 任一平^{1,2}, 陈文蕾¹

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266071

摘要: 根据 2013—2014 年在黄河口及其邻近海域进行的鱼类资源底拖网调查数据, 并结合 20 世纪 80 年代和 90 年代的历史资料, 依照黄河口水域鱼类区域组成特征, 从鱼类种类组成、繁殖共位体、鱼类耐受性和营养结构等方面提出了 12 个评价指标, 初步构建了黄河口水域鱼类生物完整性指数评价指标体系, 并制定了评价标准, 根据不同年代数据之间的差距分 3 个层次赋值打分, 研究了黄河口水域鱼类生物完整性及其年代际变化。结果表明, 20 世纪 80 年代初期黄河口水域鱼类生物完整性表现为“极好”水平; 90 年代处于“差”水平; 2013 年处于“极差”的水平。与 20 世纪 80 年代初期相比, 黄河口及其邻近水域的鱼类生物完整性呈下降趋势, 人为因素对生态环境干扰较大, 过度捕捞等造成黄河口水域鱼类种类减少甚至消失, 黄河口水域生态健康状况下降。

关键词: 生态系统健康; 生物完整性; 鱼类生物完整性指数(F-IBI); 黄河口

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)05-0946-07

完整的生态环境中必然会有完整的生态结构, Karr^[1]依据该思想首次提出用生物完整性指数(index of biotic integrity, IBI)来评价生态环境的健康状况。单一参数往往不能准确地反映环境健康和受干扰的程度, 生物完整性指数通常使用多个对受干扰反应敏感的生物参数来综合评价生态环境健康状况, 其可定量描述人类干扰与生物特性之间的关系, 且对于干扰反应敏感, 是目前在水生生态系统评价中应用较为广泛的一个生态指标^[2]。生物完整性指数最初是一种水体污染评价指标, 它以鱼类为研究对象构建, 现在已发展成为了相对较完整的评价体系, 广泛应用于海湾、湖泊、湿地、森林、河口以及河流生态系统健康评价研究^[3-13]。例如, Lydy 等^[10]应用鱼类完整性指数评价了美国阿肯色州河流在受到城镇化和农业影响后的状况; Nerbonne 等^[11]使用鱼类完整性指数研究了对土壤流失进行管理后河流状况的变化; 郑

海涛^[12]对怒江中上游鱼类完整性进行评价; 裴雪姣等^[13]应用鱼类完整性指数评价了辽河流域的健康状况。

黄河口地处莱州湾和渤海湾交汇处, 位于东经 118°5′~119°15′, 北纬 37°15′~38°10′, 1976 年 5 月黄河经人工截流改造由清水沟入渤海。黄河入海流量占渤海径流量的 75%左右, 季节性入海径流向海洋输入淡水和营养盐, 与渤海的海洋环境相互作用, 形成了适宜多种鱼类产卵、生长发育的产卵场和育幼场。20 世纪 70 年代以来, 黄河淡水径流量减少, 海域环境质量下降, 部分鱼类产卵场消失, 渔业资源衰退, 生物多样性减少, 许多重要经济种类如真鲷和带鱼成为了该海域的稀有种类^[14-18]。

本研究应用生物完整性指数评价水域生态系统健康, 初步构建黄河口水域鱼类生物完整性指数评价指标体系和评价标准, 分析不同年代黄河

收稿日期: 2017-03-06; 修订日期: 2017-05-08.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303050).

作者简介: 张芮(1994-), 硕士研究生, 主要从事渔业资源与生态学研究. E-mail: ruizhang_ouc@163.com

通信作者: 徐宾铎, 副教授, 主要从事渔业资源与生态学研究. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

口水域鱼类生物完整性的变化及影响因素,以期
为黄河口水域生态系统健康评价、水环境保护和
渔业资源的养护与管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究中 2013—2014 年鱼类资源数据来源于 2013 年 6 月、7 月、8 月(夏季)、10 月(秋季)和 2014 年 2 月(冬季)、4 月和 5 月(春季)在黄河口及邻近海域进行的 7 个航次的鱼类资源底拖网调查。本次调查共设置 24 个调查站位, 站位编号以断面(区域)–序号表示; 其中, 以黄河入海口为中心, 向外呈辐射状设置 5 条断面 18 个站位, 其中断面 3 为沿黄河入海口方向; 为了解老黄河口南部海域的鱼类组成状况, 在老黄河口南部海域设置 6 个调查站位(图 1)。依据《海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查》(GB/T12763.6-2007)进行鱼类样品的保存、分析处理和生物学测定。

黄河口及邻近水域 20 世纪 80 年代初、90 年代的鱼类组成数据来自文献[19–22]; 根据相关文献和 FishBase 信息等确定各鱼种栖息水层、食性类型和耐受性等生态习性^[23–25]。

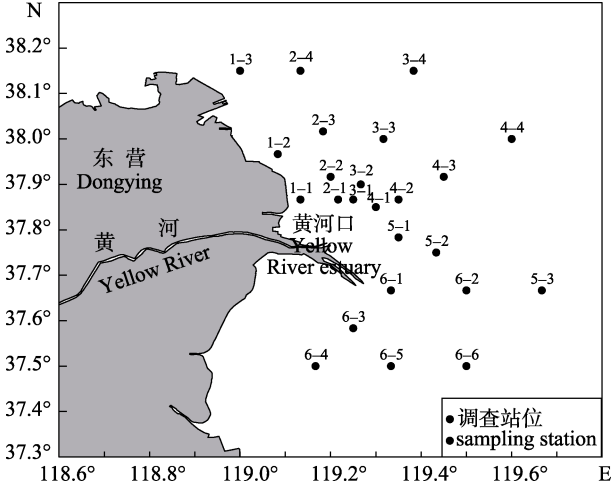


图 1 黄河口水域鱼类资源底拖网调查站位
Fig. 1 Sampling stations of bottom trawl survey for fish resources in the Yellow River estuary

1.2 鱼类生物完整性指数

综合参考有关 IBI 研究^[7–9, 26–29], 结合黄河口水域生态系统特点、鱼类区域组成特征以及数据可获得性等情况, 从黄河口鱼类群落种类组成与丰度、鱼类耐受性、营养结构、繁殖共位群等方面综合考虑, 选择了 4 类属性 12 个指标评价黄河口水域鱼类生物完整性(表 1)。

表 1 黄河口水域鱼类生物完整性指标体系
Tab. 1 List of F-IBI metrics in the Yellow River estuary

属性 attribute	候选指标 candidate metric
种类组成与丰度 species composition and abundance	1. 鱼类总种类数 total number of fish species
	2. 鲈形目鱼类百分比 percentage of number of Perciformes fishes
	3. 冷温性鱼类百分比 percentage of number of cold temperate fishes
	4. 虾虎鱼种数百分比 percentage of number of goby species
	5. 平均单位网次渔获量 catch per haul per hour
繁殖共位体 reproductive guild	6. 产黏性卵鱼类百分比 percentage of number of adhesive egg fishes
	7. 卵胎生鱼类百分比 percentage of number of ovoviviparity fishes
耐受性 tolerance	8. 高耐污鱼类种数百分比 percentage of number of high pollution tolerant fishes
	9. 低耐污鱼类种数百分比 percentage of number of pollution sensitive fishes
营养结构 trophic guild	10. 杂食性鱼类百分比 percentage of number of omnivorous fishes
	11. 浮游生物食性鱼类百分比 percentage of number of planktivorous fishes
	12. 游泳动物食性鱼类百分比 percentage of number of piscivorous fishes

用 Karr 等^[26]最先提出的 1、3、5 赋值法对 IBI 指标进行赋值, 即对各指标测得的实际值最低到最高范围内三等分, 分为三个区, 最好的等级区域记为 5, 最差的等级区域记为 1, 中间的为 3, 将各指标的分值累加, 即为 IBI 值。

IBI 指标体系根据研究水域和调查对象的不同可做适当修改, 文中对鱼类生物完整性指数总分的具体等级描述在 Karr 等^[26]基础上做了适当修改, 根据黄河口水域 F-IBI 值, 确定其鱼类生物完整性等级(表 2)。

表 2 鱼类生物完整性等级划分及特征

Tab. 2 Classes of biological integrity and their attributes corresponding to IBI scores based on the sum of 12 metric ratings

F-IBI 值 F-IBI	特征描述 attribute	完整性等级 integrity class
58-60	期望出现的种类, 包括耐受性极差的种类都存在, 鱼类种类丰富, 鲈形目鱼类比例较低, 游泳动物食性和浮游动物食性鱼类比例较高.	极好 excellent
48-52	种类丰度低于期望值, 耐受性极差的种类消失, 某些种类的数量和大小分布低于期望值, 鲈形目种类比例较高, 杂食性鱼类比例高于期望值.	好 good
40-44	种类丰度降低, 耐受性差的种类消失, 部分种类数量下降; 杂食性鱼类和耐受力强的种类频度增加.	一般 fair
24-34	种类丰度较低, 鲈形目鱼类比例较高, 虾虎鱼种数比例较高, 杂食性种类、耐受性强的种类占据优势.	差 poor
12-22	种类丰度低, 鲈形目鱼类比例高, 除耐受性极强的杂食性种类外, 鱼类较少.	极差 very poor

通过比较 20 世纪 80 年代、90 年代以及 2013 年等不同年份的数据, 分析黄河口水域鱼类生物完整性指数的变化趋势。

2 结果与分析

2.1 鱼类组成及属性类型

黄河口水域 2013—2014 年调查共捕获鱼类 51 种, 包括海洋性鱼类、河口性鱼类和洄游性鱼类。鲈形目共 26 种, 约占鱼类总种数的 50.98%。按栖息水层划分, 其中底层鱼类 42 种, 中上层 9 种, 分别占鱼类总种数的 82.35%和 17.65%。按适温属性划分, 其中暖温种 38 种, 暖水种 5 种, 冷温种 8 种, 分别占 74.51%、9.80%和 15.69%。按产卵类型分, 产浮性卵的 28 种, 产沉性卵的 2 种, 黏性卵的 10 种, 附着性卵的 6 种, 卵胎生的 5 种,

分别占 54.90%、3.92%、19.61%、11.76%、9.80%。按耐受性划分, 低耐污种 23 种, 约占 45.10%, 高耐污种 28 种, 约占 54.90%。按食性划分, 杂食性鱼类 4 种, 浮游生物食性鱼类 14 种, 游泳动物食性鱼类 9 种, 底栖生物食性鱼类 24 种, 分别占 7.84%、27.45%、17.65%和 47.06%。

2.2 黄河口 F-IBI 指标赋分标准

根据 1、3、5 赋值法, 列出了黄河口鱼类生物完整性指数各指标赋值标准(表 3)。

2.3 黄河口 F-IBI 值及其变化

表 4 列出了不同年代的黄河口海域鱼类生物完整性指数各指标值以及 IBI 值。20 世纪 80 年代 F-IBI 得分为 60 分, 鱼类生物完整性处于“极好”的水平。90 年代 F-IBI 得分为 24 分, 鱼类生物完整性处于“差”的水平。2013 年 F-IBI 得分为 14 分,

表 3 黄河口鱼类 IBI 指标赋分标准
Tab. 3 F-IBI metrics score criteria in the Yellow River estuary

属性 attribute	指标 metrics	分值 score		
		5	3	1
种类组成与丰度 composition and richness	1. 鱼类总种类数 total number of fish species	>60	30~60	0~30
	2. 鲈形目鱼类百分比 percentage of number of Perciformes fishes	<42.31	42.31~46.64	>46.64
	3. 冷温性鱼类百分比 percentage of number of cold temperate fishes	>17.05	16.37~17.05	<16.37
	4. 虾虎鱼种数百分比 percentage of number of Goby species	<13.95	13.95~17.78	>17.78
	5. 平均单位网次渔获量 catch per haul per hour	>100	50~100	<50
繁殖共位体 reproductive guild	6. 产黏性卵鱼类百分比 percentage of number of adhesive egg fishes	<14.13	14.13~16.87	>16.87
	7. 卵胎生鱼类百分比 percentage of number of ovoviviparity fishes	>14.23	12.02~14.23	<12.02
耐受性 tolerance	8. 高耐污鱼类种数百分比 percentage of number of high pollution tolerant fishes	<47.83	47.83~51.37	>51.37
	9. 低耐污种数鱼类百分比 percentage of number of pollution sensitive fishes	>52.17	48.63~52.17	<48.63
营养结构 trophic guild	10. 杂食性鱼类百分比 percentage of number of omnivorous fishes	<6.90	6.90~7.48	>7.48
	11. 浮游生物食性鱼类百分比 percentage of number of planktivorous fishes	<21.81	21.81~24.63	>24.63
	12. 游泳动物食性鱼类百分比 percentage of number of piscivorous fishes	>22.67	20.20~22.67	<20.20

表 4 IBI 指标各年份得分值
Tab. 4 F-IBI in the Yellow River estuary

指标 metrics	1980s	1990s	2013
1. 鱼类总种类数 total number of fish species	5	5	3
2. 鲈形目鱼类百分比 percentage of number of Perciformes fishes	5	1	1
3. 冷温性鱼类百分比 percentage of number of cold temperate fishes	5	1	1
4. 虾虎鱼种数百分比 percentage of number of goby species	5	3	1
5. 平均单位网次渔获量 catch per haul per hour	5	1	1
6. 产黏性卵鱼类百分比 percentage of number of adhesive egg fishes	5	3	1
7. 卵胎生鱼类百分比 percentage of number of ovoviviparity fishes	5	1	1
8. 高耐污鱼类种数百分比 percentage of number of high pollution tolerant fishes	5	1	1
9. 低耐污种数鱼类百分比 percentage of number of pollution sensitive fishes	5	1	1
10. 杂食性鱼类百分比 percentage of number of omnivorous fishes	5	1	1
11. 浮游生物食性鱼类百分比 percentage of number of planktivorous fishes	5	3	1
12. 游泳动物食性鱼类百分比 percentage of number of piscivorous fishes	5	3	1
IBI 值 IBI score	60	24	14

其鱼类完整性等级为“极差”的水平。相比较而言, 在 20 世纪 80 年代, 黄河口及邻近水域生态环境优良, 90 年代以后黄河口鱼类生物完整性下降。

3 讨论

本研究表明, 20 世纪 80 年代以来, 黄河口及邻近水域鱼类生物完整性呈下降趋势, 这主要与过度捕捞、污染和黄河断流等因素的影响有关。过度捕捞使得近年来黄河口水域渔获物质量下降, 渔业资源结构发生变化, 鱼类完整性遭到破坏^[30-31]。黄河口及邻近水域是黄、渤海渔业生物的主要产卵场、育幼场和索饵场, 黄河每年向海洋输入大量的淡水、泥沙和各种营养盐类, 同时将污染物直接或者间接地排入海洋中, 致使生态资源遭到破坏^[14]。人类对水资源的过度开发利用使得黄河自 1976 年改道以来径流量呈逐年下降趋势, 而 1986 年至今河流携带污染物数量却在逐年增加, 黄河断流天数也由 20 世纪 70—80 年代平均 8~10 d 增加至 90 年代 94 d; 黄河径流量的减少和断流天数的增加对水域生物完整性和多样性都带来很大负面影响^[32]。20 世纪 70 年代以来, 由于陆源排污量增多和黄河入海径流量减少等原因, 黄河口水域环境质量下降, 导致河口及近岸海域的生物物种退化, 底栖生物、浮游生物和洄游性生物大量减少, 很多水域都已经失去了作为鱼类产卵

场的功能, 黄河口渔业资源衰退, 海洋生态环境严重恶化^[33-34]。自 20 世纪 80 年代以来, 黄河口水域鱼类资源和水域环境条件均处于逐渐恶化的趋势^[15]。综合来看, 人类活动对黄河口水域的环境影响很大, 河口水域环境污染、渔业资源的过度捕捞造成鱼类组成发生了很大变化。

基于鱼类的 IBI 指标体系与其他评价指标相比具有其自身的优点, IBI 指标体系综合性较强, 不仅包含鱼类种群和个体状况, 还包含一些群落结构信息, 它弥补了单一理化指标评价的不足, 能够对鱼类及渔业资源现状进行客观地描述^[7], 但是种类鉴定和数据分析的准确性是 IBI 评价体系所得结果正确与否的基础^[1], 因此在实验室内对渔获物进行准确的分析和生物学鉴定十分重要。根据黄河口水域鱼类资源现状及渔获种类特征, 本文中 IBI 指标体系在已有的参考体系基础上做了适当修改。鱼类种类数及平均单位网次渔获量越高表明该海域生物完整性状况越好; 鲈形目鱼类、高耐污种类及杂食性鱼类所占比例越高表明海域完整性状况越差。由于数据获取受限, 本研究仅讨论了 20 世纪 80 年代至今的生物完整性状况。在本研究的时间范围内, 黄河口水域在 20 世纪 80 年代初时的调查结果较好地反映了当时的本底状况, 由于当时环境受人类干扰相对较少, 所以可以作为研究时间范围内黄河口水域生

物完整性的理想状况,因此本研究的指标体系赋值标准及完整性等级划分合理,但今后仍需要结合更多的理化因子和环境调查数据对该指标体系进行验证和补充分析。

参考文献:

- [1] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6(6): 21–27.
- [2] Wang B X, Yang L F, Liu Z W. Index of biological integrity and its application in health assessment of aquatic ecosystem[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(6): 707–710. [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.]
- [3] Leonard P M, Orth D J. Application and testing of an index of biotic integrity in small, coolwater streams[J]. Trans Am Fish Soc, 1986, 115(3): 401–414.
- [4] Innis S A, Naiman R J, Elliott S R. Indicators and assessment methods for measuring the ecological integrity of semi-aquatic terrestrial environments[J]. Hydrobiologia, 2000, 422–423: 111–131.
- [5] Toham A K, Teugels G G. First data on an index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages for the assessment of the impact of deforestation in a tropical West African river system [J]. Hydrobiologia, 1999, 397: 29–38.
- [6] Liu M D, Chen D Q, Duan X B, et al. Assessment of ecosystem health of upper and middle Yangtze River using fish-index of biotic integrity[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(2): 1–6, 10. [刘明典, 陈大庆, 段辛斌, 等. 应用鱼类生物完整性指数评价长江中上游健康状况[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(2): 1–6, 10.]
- [7] Zhu D, Chang J B. Evaluation on temporal and spatial changes of biological integrity for shallow lakes in the middle reach of the Yangtze River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2761–2767. [朱迪, 常剑波. 长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2761–2767.]
- [8] Zhu D, Chen F, Yang Z, et al. Assessment of drinking water source with fish index of biotic integrity (F-IBI)[J]. Journal of Hydroecology, 2012, 33(2): 1–5. [朱迪, 陈锋, 杨志, 等. 基于鱼类生物完整性指数的水源地评价[J]. 水生态学杂志, 2012, 33(2): 1–5.]
- [9] Mao C Z, Zhong J S, Jiang R J, et al. Application of fish assemblage integrity index (FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4609–4619. [毛成责, 钟俊生, 蒋日进, 等. 应用鱼类完整性指数(FAII)评价长江口沿岸碎波带健康状况[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4609–4619.]
- [10] Lydy M J, Strong A J, Simon T P. Development of an index of biotic integrity for the Little Arkansas River Basin, Kansas[J]. Archives of Environmental Contamination & Toxicology, 2000, 39(4): 523–530.
- [11] Nerbonne B A, Vondracek B. Effects of local land use on physical habitat, benthic macroinvertebrates, and fish in the Whitewater River, Minnesota, USA[J]. Environ Manag, 2001, 28(1): 87–99.
- [12] Zheng H T. Evaluating the biotic integrity of up and middle reaches of Nujang River based on fish assemblages[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006. [郑海涛. 怒江中上游鱼类生物完整性评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.]
- [13] Pei X J, Niu C J, Gao X, et al. The ecological health assessment of Liao River Basin, China, based on biotic integrity index of fish[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(21): 5736–5746. [裴雪姣, 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.]
- [14] Ji D W. Study on the Yellow River estuary environment status and its influencing factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006. [纪大伟. 黄河口及邻近海域生态环境状况与影响因素研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.]
- [15] Zhu X H, Miu F, Liu D, et al. Spatiotemporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River estuary and its adjacent waters[J]. Studia Marine Sinica, 2001, 43: 141–151. [朱鑫华, 缪锋, 刘栋, 等. 黄河口及邻近海域鱼类群落时空格局与优势种特征研究[J]. 海洋科学集刊, 2001, 43: 141–151.]
- [16] Liu Y H, Yang X L, Jin Y, et al. Distribution and inter-annual variation of nutrients in Laizhou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(4): 1–5. [刘义豪, 杨秀兰, 靳洋, 等. 莱州湾海域营养盐现状及年际变化规律[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(4): 1–5.]
- [17] Peng R, Zuo T, Wan R J, et al. Zooplankton biomass size spectra and prediction of fish biomass in late spring in Laizhou Bay, Bohai Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(1): 10–16. [彭荣, 左涛, 万瑞景, 等. 春末夏初莱州湾浮游动物生物量谱及潜在鱼类生物量的估算[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 10–16.]
- [18] Lv Z B, Li F, Qu Y B, et al. Fish community diversity in the Huanghe estuary and its adjacent area in summer, 2010[J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(2): 10–18. [吕振波, 李凡, 曲业兵, 等. 2010年夏季黄河口及邻近海域鱼类群落多样性[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 10–18.]

- [19] Yang J, Wang C. Primary fish survey in the Huanghe River estuary[J]. *Chin J Oceanol Limnol*, 1993, 11(4): 368–374.
- [20] Chen D G, Shen W Q, Liu Q, et al. The geographical characteristics and fish species diversity in the Laizhou Bay and Yellow River estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(3): 46–52. [陈大刚, 沈谓铨, 刘群, 等. 莱州湾及黄河口水域地理学特征与鱼类多样性(英文)[J]. *中国水产科学*, 2000, 7(3): 46–52.]
- [21] Chen D, Jiao Y, Liu Q, et al. Fish species diversity in the Huanghe Estuary[J]. *Acta Oceanol Sin*, 2000, 19(4): 125–135.
- [22] Shan X, Sun P, Jin X, et al. Long-term changes in fish assemblage structure in the Yellow River estuary ecosystem, China[J]. *Mar Coast Fish: Dynam Manag Ecosyst Sci*, 2013, 5(1): 65–78.
- [23] Chen D G, Zhang M Z. *Marine Fishes of China*[M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2016. [陈大刚, 张美昭. *中国海洋鱼类*[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2016.]
- [24] Ni Y, Wu H L. *Ichthyography of Jiangsu Province*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. [倪勇, 伍汉霖. *江苏鱼类志*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.]
- [25] Chen D G. *Fishery Resources Biology*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997. [陈大刚. *渔业资源生物学*[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.]
- [26] Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, et al. Assessing biological integrity in running water: a method and its rationale[J]. *Illinois Natural History Survey Special Publication*, 1986, 5: 1–28.
- [27] Karr J R. Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management[J]. *Ecol Appl*, 1991, 1(1): 66–84.
- [28] Karr J R. Defining and assessing ecological integrity: beyond water quality[J]. *Environ Toxicol Chem*, 1993, 12(9): 1521–1531.
- [29] Karr J R. Ecological integrity and ecological health are not the same[C]//Schulze P C. *Engineering within ecological constraints*. Washington: National Academy Press, 1996: 97–109.
- [30] Bianchi G, Gislason H, Graham K, et al. Impact of fishing on size composition and diversity of demersal fish communities[J]. *ICES J Mar Sci*, 2000, 57(3): 558–571.
- [31] Qiu S Y, Ge Y C, Cai W X. On the optimal fishing effort for marine fisheries resources in China[J]. *Marine Fisheries*, 1993(3): 101–104. [邱盛尧, 葛允聪, 蔡文仙. 试论我国海洋渔业资源的适宜捕捞力量[J]. *海洋渔业*, 1993(3): 101–104.]
- [32] Deng J Y, Jin X S. Study on fishery biodiversity and its conservation in Laizhou Bay and Yellow River estuary[J]. *Zoological Research*, 2000, 21(1): 76–82. [邓景耀, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及其保护研究[J]. *动物学研究*, 2000, 21(1): 76–82.]
- [33] Cui Y, Ma S S, Li Y P, et al. Pollution situation in the Laizhou Bay and its effects on fishery resources[J]. *Marine Fisheries Research*, 2003, 24(1): 35–41. [崔毅, 马绍赛, 李云平, 等. 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.]
- [34] Li B, Wang P T, Zhao J Y, et al. Effects of human activities on the environments of Yellow River Delta and strategy[J]. *Yellow River*, 2010, 32(4): 70–71. [李彬, 王鹏涛, 赵静雅, 等. 人类活动对黄河三角洲环境的影响及对策[J]. *人民黄河*, 2010, 32(4): 70–71.]

Evaluation of the biotic integrity of fish assemblages in the Yellow River estuary and its adjacent waters

ZHANG Rui¹, XU Binduo¹, XUE Ying¹, ZHANG Chongliang¹, REN Yiping^{1,2}, CHEN Wenlei¹

1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes; Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

Abstract: The index of biotic integrity (IBI) is sensitive to disturbance and can quantitatively describe the relationship between biological characteristics and the effects of human activities. It is one of the most widely used ecological indicators for evaluating aquatic ecosystem health. Originally, IBI was a type of water pollution assessment index that was established based on fish species composition, but it has now developed into a relatively complete evaluation system that has been used for the assessment of ecosystem health in bays, lakes, wetlands, forests, estuaries, and river systems. The comprehensive IBI index system based on fish has certain advantages over other evaluation indices because it includes information relating to fish population and individual status, as well as some aspects of community structure. Moreover, the IBI index system can be modified according to the objective and study area. In order to evaluate the biological integrity of the fish assemblage and the ecosystem health of the Yellow River estuary, bottom trawl survey data of fish species during 2013–2014 and historical data from the 1980s and 1990s were collected in the Yellow River estuary and its adjacent waters. A fish-based biotic integrity (F-IBI) index system for assessing habitat quality, which was originally developed by Karr, was proposed. The index system consists of 12 indicators that measure fish composition and richness, reproductive guild, and tolerance and trophic guild, taking into consideration the regional feature of fish species in Yellow River estuary. The evaluation criteria for F-IBI were also determined. Fish-based biotic integrity and habitat quality for the Yellow River estuary were evaluated. The results showed that the levels of fish biotic integrity in the Yellow River estuary during the 1980s, 1990s, and in 2013 were “excellent”, “poor”, and “very poor”, respectively. Since the 1980s, the fish biotic integrity and environmental conditions have been declining in the Yellow River estuary. Anthropogenic activities such as overfishing have adversely affected the Yellow River estuary ecosystem and have led to the decrease or disappearance of fish species and decline of the ecosystem health of the Yellow River estuary.

Key words: ecosystem health; biotic integrity; fish-index of biotic integrity (F-IBI); Yellow River estuary

Corresponding author: XU Binduo. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn