

应用 F-IBI 对太子河流域水生态 健康评价的初步研究

宋智刚¹, 王伟¹, 姜志强¹, 殷旭旺¹, 谭淑荣¹, 张远², 孟伟²

(1. 大连海洋大学 农业部海洋水产增养殖学重点开放实验室, 辽宁 大连 116023; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 采用鱼类生物完整性指数 (F-IBI) 评估了中国东北太子河流域的环境质量。于 2009 年 5 月在太子河流域 61 个点位 (参考点 26 个, 受损点 35 个) 对鱼类进行抽样采集, 捕获到鱼类 34 种, 分属 9 科, 共计 2 247 尾。采用 23 个生物参数进行干扰反应、相关性和生物参数判别能力的分析, 最终确定了鱼类总分类单元数、总渔获量、雅罗鱼亚科种类百分比、耐污物种百分比、广布种百分比等 5 个指标, 用于构建 F-IBI。利用三分法统一各个参数量纲, 将各个指数加和得到 IBI 值, IBI 分数为 5~25 (IBI=25~22 为健康, IBI=21~18 为亚健康, IBI=17~14 为一般, IBI=13~10 为较差, IBI=9~5 为极差)。研究结果显示, 19 个样点为健康, 11 个样点为亚健康, 12 个样点一般, 11 个样点较差, 8 个样点极差, 而且 IBI 与栖息地生境质量显著相关 ($P < 0.01$)。

关键词: 太子河流域; 鱼类组成; IBI; 生物完整性; 健康评价

中图分类号: S932

文献标志码: A

近年来, 可持续发展的观念已深入人心, 生态学研究正逐渐向重视生态系统健康评价、功能评价等方面发展, 如 20 世纪 80 年代基于健康指标体系方法的生态系统健康评价研究^[1-3], 20 世纪末开展的基于环境经济方法的生态系统功能评价研究等^[4]。这些研究都试图从不同的方法角度对生态系统做出正确评价。随着环境生态学的发展, Karr 等^[5]于 1981 年提出了生物完整性的定义, 认为生态系统完整性是一种生态质量, 即一种处于完整的、很少需要外部支撑且没有遭受分割的状态。因此, Karr 建立了生物完整性指数 (Index of biotic integrity, IBI), 通过鱼类的信息对河流生态系统完整性进行评估, 最终对河流进行健康评价。作为一个较新的环境评价方法, 该方法突破了先前单纯利用理化指标评价水环境质量状况的局限性, 强调从生态系统的角度客观反映河流的健康状况, 以及分析河流环境问题的形成原因。生物完整性指数 IBI 成为目前生态系统健康评价中应用最广泛的生态指标之一。

目前, 美国所有的州都开始使用生物完整性指

标进行水质生物的评价^[6]。此外, 在巴西、法国、印度、墨西哥以及日本、韩国也均已利用 IBI 指标体系评价当地生态系统和水质状况^[7-9]。生物完整性指数已得到许多研究者的认可, 将其应用于各种类型的生物, 如大型底栖无脊椎动物、藻类、浮游生物, 湿地、溪流和河口地区的高等维管束植物等。然而鱼类被认为是评估流域完整性最合适的指标, 因为鱼类的生物等级高, 在食物链中的地位和水质灵敏度高^[5]。本研究中, 作者对太子河水系的鱼类组成进行了调查, 利用 IBI 评价方法探讨了太子河水系的健康状况, 旨在为构建水系健康评价中的鱼类指标体系及进一步的深入研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

太子河发源于辽宁省新宾县大红石砬子, 向西流经本溪、鞍山、辽阳三市, 在三岔河与浑河一起汇入大辽河, 行至营口市注入渤海。太子河长为 413 km, 主要支流有南支、小汤河、汤河、细河、

收稿日期: 2009-12-15

基金项目: 国家重大水专项 (2008ZX07526-001)

作者简介: 宋智刚 (1985-), 硕士研究生。E-mail: songzhigangxinxiang@126.com

通信作者: 王伟 (1978-), 博士, 副教授。E-mail: wangwei@dlou.edu.cn

兰河、三道河等。流域面积为 13 883 km²。流域内山地占 69%，丘陵占 6.1%，平原占 24.9%。太子河流域属温带季风气候，年内温差较大。降雨量多集中在 6—9 月，占全年降雨的 71.2%。

1.2 调查方法

2009 年 5 月在太子河流域选取 61 个样点采集鱼类标本，并调查鱼类栖息地生境。采样点水深小于 1.5 m 时，采用双肩背 32 管超声电鱼器电鱼法（单位输出为 16.7 ms），沿采样点上下 200 m，均匀选择 5 个点，每个点上针对不同生境进行采样，如急流区域、缓流区域、不同底质、水草丛生地等，每个样点采样约 30 min；采样点水深大于 1.5 m 时，采用网目为 10 的刺网捕捞，采样 30 min。将采集到的样品用体积分数为 10% 的甲醛保存，然后带回实验室进行鉴定。根据参考文献 [10 - 11] 鉴定鱼类标本，对所有在流域内收集到体长大于 20 mm 的鱼鉴定到种（或亚种）。对所有捕捞到的鱼类都计数、称重，并观察是否怀卵，是否存

在形体异常（畸形、病变、肿瘤、鳍条侵蚀）等。

样点生境质量评价主要借鉴了 Barbour 等^[12] 的评价方法，并结合当地实际状况对其指标体系进行了修改，最终所采用的指标体系由底质组成、生境复杂性、流速和深度结合、堤岸稳定性、河道变化、河水水量状况、河岸植被多样性、水质状况、人类活动强度、河岸边土地利用类型 10 个指标构成^[13]，并按照各指标依次为栖息地赋分。

1.3 数据分析

针对太子河流域鱼类组成的自身特点，对 IBI 各参数及评价方法进行了适当调整，方法如下。

1.3.1 参考点的选择 依据样点生境质量评价指标，选取无人为干扰或干扰极小的样点为参考点，受损点为已明显受到各种人类活动干扰的样点^[14]。按照上述原则并参考各样点栖息地得分和该地区的鱼类物种丰富度及渔获量等来综合确定样点的干扰程度。最终从 61 个样点（图 1）中确定了 26 个参考点和 35 个受损点。

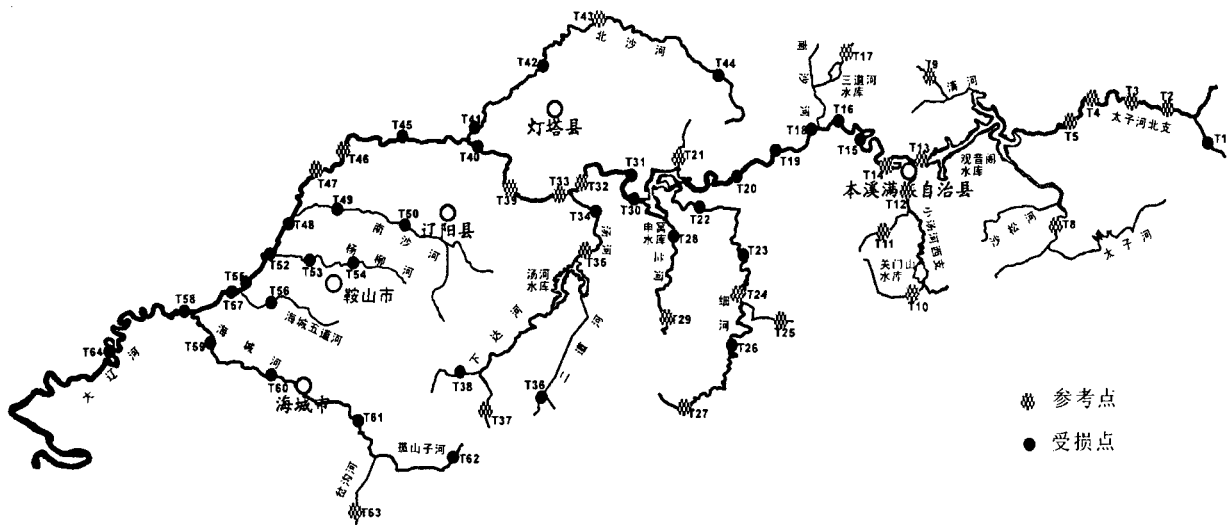


图 1 太子河流域采样点位示意图

Fig. 1 Location map of sampling sites in Taizi River Basin

1.3.2 生物完整性指标体系的确定

1) 提出候选指标。根据本次调查所研究的内容和实际情况，结合应用 IBI 较为成熟的指标，本研究中制定了 23 个候选指标，力求基本做到尽可能的反映环境变化对鱼类（个体、种群、群落）数量、结构和功能的影响，从而能够有效地监测和评价水环境质量。

2) 候选指标对干扰的反应。利用参考点和受损点的调查资料计算各候选生物指数值，分析候选

指数对人类干扰的反应，挑选出随人类干扰反应单向增大或减小的指标（表 1），删除那些不是随干扰的增强而单向递增或递减的指标^[15]。

3) 生物参数判别能力分析。在此基础上采用箱线图法分析上述筛选后的各指数值在参考点和受损点之间的分布情况。根据 Barbour 等^[12] 的评价法，比较参考点和受损点的 25% ~ 75% 分位数范围（即箱体 IQ）的重叠情况，分别赋予不同的值。箱体（即大长方形）表示 25% ~ 75% 分位数分

布范围,小长方形表示中位数。箱体比较会出现 5 种情况: A, 没有重叠, IQ 为 3; B, 部分重叠, 但各自中位数值都在对方箱体范围之外, IQ 为 2; C、D, 只有 1 个中位数值在对方箱体范围之内, IQ 为 1; E, 各自中位数值都在对方箱体范围之内, IQ 为 0。只对 $IQ \geq 2$ 的指数作进一步分析。

4) 相关性分析。对余下指标进行正态分布检验, 对于符合正态分布的生物指标, 计算 Pearson 相关系数; 不符合的计算 Spearman 相关系数。并根据相关性显著水平确定生物指数间的信息重叠程度。如果两个指标间显著相关, 表明两个指标间所反映的信息大部份是重叠的, 则选其一^[11]。经过上述三步分析, 可以确定出构成 IBI 指标体系的生物指数。

5) 生物学指数分值计算。本研究中采用三分法对生物学指数进行记分^[16]。具体方法是: 将待评估水域中调查获得的各指标数据与参考点数据相比, 对随干扰增大而下降的指标, 大于参考点数值 25% 分位数的值定为 5 分, 对小于 25% 分位数值和大于所有点位最小值的分布范围进行 2 等分, 分别赋予 3 分及 1 分; 对随干扰增大而上升的指标, 小于参考点数值 75% 的值得 5 分, 对大于 75% 分位数值但小于所有点位最大值的分布范围同样进行 2 等分, 分别赋予 3 分及 1 分。

6) 确定 IBI 指标体系的评价标准。本研究中共获得 5 个指标, 将各指标的分值进行相加, 得到 IBI 的指数值。其累积分值就在 5 ~ 25 之间, 将其 5 等分, 划分出健康、亚健康、一般、较差、极差 5 个等级的划分标准。

所有数据均应用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

2 结果

2.1 鱼类组成

在太子河流域各水体共采集到鱼类 34 种, 分属 9 科, 总样本量为 2 247 尾 (表 1)。

2.2 太子河流域鱼类 IBI 指标体系

2.2.1 生物指标对干扰的反应 23 个生物指标对人为干扰的反应及其在参考点中的分布情况见表 2。结果表明: 鳊亚科种类、本地特有鱼种、非本地鱼种和冷水鱼所占百分比不随干扰增大而呈现单向变化, 因此, 这几个指标不适合参与指标体系的构建。鲮亚科种类及肉食性鱼类数量比例均呈现

表 1 鱼类组成

Tab. 1 Fish assemblage structure

学名 Scientific name	拉丁名 Latin name	样本数量 Number of samples
七鳃鳗科		
东北七鳃鳗	<i>Lampetra morii</i>	5
胡瓜鱼科		
池沼公鱼	<i>Hypomesus olidus</i>	1
鲤科		
宽鳍鱮	<i>Zacco platypus</i>	32
洛氏鲮	<i>Phoxinus lagowskii</i>	717
花江鲮	<i>Phoxinus czekanowskii</i>	129
东北雅罗鱼	<i>Leuciscus waleckii</i>	59
鲮条	<i>Hemiculter leucisculus</i>	35
鳊	<i>Parabramis pekinensis</i>	3
中华鲮	<i>Rhodeus sinensis</i>	4
黑龙江鲮	<i>Rhodeus sericeus</i>	59
彩鲮	<i>Rhodeus lighti</i>	41
兴凯鲮	<i>Acheilognathus chankaensis</i>	53
麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	69
凌源鮡	<i>Gobio linyuanensis</i>	2
犬首鮡	<i>Gobio gobio cynocephalus</i>	16
棒花鮡	<i>Gobio gobio rivuloides</i>	3
棒花鱼	<i>Abbottina rivularis</i>	196
辽宁棒花鱼	<i>Abbottina liaoningensis</i>	35
清徐胡鮡	<i>Huigobio chinssuensis</i>	2
鲫	<i>Carassius auratus</i>	119
白鲫	<i>Carassius auratus cuvieri</i>	13
鳅科		
北方条鳅	<i>Nemachilus nudus</i>	192
北方花鳅	<i>Cobitis granoei</i>	78
泥鳅	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	84
青鳉科		
青鳉	<i>Oryzias latipes</i>	41
鱺科		
鱺	<i>Hemirhamphus sajori</i>	30
塘鳢科		
葛氏鲈塘鳢	<i>Percottus glehni</i>	1
沙塘鳢	<i>Odontobutis obscura</i>	63
黄魮	<i>Hypseleotris swinhonis</i>	22
鰕虎鱼科		
纹缟鰕虎鱼	<i>Tridentiger trionocephalus</i>	1
普氏栉鰕虎鱼	<i>Ctenogobius pflaumi</i>	2
褐栉鰕虎鱼	<i>Ctenogobius brunneus</i>	84
波氏栉鰕虎鱼	<i>Ctenogobius cliffordpopei</i>	51
杜父鱼科		
花杜父鱼	<i>Cottus poecilopus</i>	5
总计		2247

表 2 23 个候选指标
Tab. 2 Twenty - three candidate biological metrics

指标类型 Metrics	参数 Parameter	对干扰的反应 Reaction	参数描述 Description
物种丰富度 和组成	鱼类总分类单元数	下降	在一个样点有几种物种
	总渔获量	下降	鱼数量/电鱼 30 分
物种个体数量 所占比例/%	雅罗鱼亚科	下降	宽鳍鱮、洛氏鱮、花江鱮、东北雅罗鱼
	鳊亚科	无	鲮条、鳊
	鲮亚科	下降	中华鲮、黑龙江鲮、彩鲮、兴凯鲮
	鮠亚科	上升	麦穗鱼、犬首鮠、棒花鮠、凌源鮠、棒花鱼、辽宁棒花鱼、清徐胡鮠
	鲤亚科	上升	鲫、白鲫
	鳅科	下降	北方条鳅、北方花鳅、泥鳅
	鰕虎鱼科	下降	普氏栉鰕虎鱼、波氏栉鰕虎鱼、褐栉鰕虎鱼、纹缟鰕虎鱼
	本地特有鱼种 经济鱼类	无 下降	葛氏鲈塘鳢 鲮条、泥鳅、池沼公鱼、东北雅罗鱼、鳊、鲫、葛氏鲈塘鳢、沙塘鳢
营养方式	肉食性鱼类百分比	下降	池沼公鱼、青鲈、沙塘鳢、花杜父鱼
	植食性鱼类百分比	下降	中华鲮、黑龙江鲮、彩鲮、兴凯鲮、北方花鳅、波氏栉鰕虎鱼
	杂食性鱼类的百分比	上升	鲮条、宽鳍鱮、洛氏鱮、花江鱮、东北雅罗鱼、麦穗鱼、犬首鮠、棒花鮠、凌源鮠、棒花鱼、辽宁棒花鱼、清徐胡鮠、鲫、白鲫、北方条鳅、泥鳅、葛氏鲈塘鳢、黄鱼幼、普氏栉鰕虎鱼、波氏栉鰕虎鱼、褐栉鰕虎鱼、纹缟鰕虎鱼
反应生物 耐污能力	敏感性物种百分比 耐污物种百分比	下降 上升	葛氏鲈塘鳢、沙塘鳢、北方花鳅 泥鳅、白鲫、鲫
个体条件	有异常个体百分比	上升	畸形、病变、肿瘤、鱼鳍侵蚀
	非本地鱼种百分比	无	白鲫
	怀卵鱼比例	下降	洛氏鱮、棒花鱼、麦穗鱼等 15 种
小生境质量	底层鱼类百分比	上升	北方花鳅、沙塘鳢、黄魮、普氏栉鰕虎鱼、波氏栉鰕虎鱼、褐栉鰕虎鱼
	冷水鱼百分比	无	洛氏鱮、花江鱮、东北雅罗鱼、北方条鳅、葛氏鲈塘鳢、花杜父鱼
	有护卵行为鱼类数量	上升	麦穗鱼、沙塘鳢
环境质量	广布种	下降	洛氏鱮、花江鱮

出随污染单向减小的趋势,但它们的中位数都为 0,随着污染的增强,其值的可变范围非常窄。因此,也不适宜参与构建 IBI 指标体系。

2.2.2 判别能力及相关性分析 物种多样性、总渔获量、雅罗鱼亚科种类百分比、耐污物种百分比、广布种百分比的 IQ 都大于或等于 2。可以用于构建 F-IBI 体系。

对上述 5 个指标进行正态分布检验,表明均符合正态分布。然后进行 Pearson 相关分析,采用 Barbour 等^[16]和 Blockson 等^[14]的标准,以 $|r| > 0.9$ 表示 2 个参数间高度相关。经检验,这 5 个生物指标呈非高度相关(表 3)。鱼类总分类单元数可从总体上反映生境整体质量,总分类单元数丰富的地方一般环境质量都相对优秀。总渔获量可反映物种丰富度,通常随着人类干扰而下降,这个指标常用于 IBI 体系中。雅罗鱼物种的分布与底质、海

拔和水温等有关,而其数量往往随着浑浊度的增加或植被覆盖的减少而下降。另外,耐污种可反映生物耐污能力,从而反映河流污染程度。广布种的数量是衡量均匀度,其数量的减少代表河流环境可能遭到破坏。

2.2.3 F-IBI 指标体系 根据各参数值在参考点和受损点中值的分布,确定计算各参数的三分制(表 4),并依次计算各样点的 F-IBI 值。F-IBI 指标体系的评价标准见表 5。从表 6 可见:在太子河流域所检测的点位中 19 个为健康,11 个为亚健康,12 个为一般,11 个为较差,8 个为极差。其中,在太子河上游各样点基本为健康和亚健康状态,栖息地生境质量也较好;中下游因受到大量的城市污染和工厂污染健康状况明显下降,为一般等级以下。太子河水系支流大部分为健康和亚健康状态,但灯塔县的北沙河健康状况为一般以下;而位

于辽阳的南沙河，位于鞍山的杨柳河，位于海城的五道河及海城河健康等级为极差，受到的污染相当

严重，50、53、54、56 号点位水体呈黑色墨汁状，并散发着臭味，根本没有鱼类存活。

表 3 5 个候选指标间的 Pearson 相关性系数

Tab. 3 The Pearson correlation coefficient among five candidate biological metrics

指标 Metrics	鱼类总分类单元数 Total number of fish species	总渔获量 Total catch	雅罗鱼亚科 Subfamily Leuciscinae	耐污种 Tolerant species	广布种 Widely dispersed species
鱼类总分类单元数	1				
总渔获量	0.473	1			
雅罗鱼亚科	-0.223	0.117	1		
耐污种	0.035	-0.18	-0.445	1	
广布种	-0.126	0.335	0.794	-0.415	1

表 4 5 个生物指标的赋分标准

Tab. 4 Metric score criteria of five biological metrics

序号 No.	指标 Metrics	评分标准 Metric score criteria		
		5	3	1
1	鱼类总分类单元数	>4.75	2.375 ~ 4.75	<2.375
2	总渔获量	>39.25	20 ~ 39.25	<20
3	雅罗鱼亚科种类占百分比	>20.75	11 ~ 20.75	<11
4	耐污物种占百分比	<8.25	8.25 ~ 45	>45
5	广布种占百分比	>6.5	3.25 ~ 6.5	<3.25

表 5 太子河流域鱼类生物完整性的评价标准

Tab. 5 Assessment criteria for biological integrity of fish in Taizi River basin

	健康 Healthy	亚健康 Subhealthy	一般 Normal	较差 Worse	极差 Worst
IBI	25 ~ 22	21 ~ 18	17 ~ 14	13 ~ 10	9 ~ 5

2.3 IBI 与栖息地质量之间的相关性

本研究中分析了 IBI 与栖息地质量得分的相关

关系，以反映栖息地质量与生物完整性的关系，研究栖息地质量的改变对河流健康的影响程度。结果表明，IBI 分数与栖息地质量呈显著正相关(图 2)，相关系数为 0.587 ($P < 0.01$)。因为河流环境的复杂性不完全在于栖息地的质量，但基本表现为 IBI 指数随着栖息地环境质量的提高而逐渐提高。

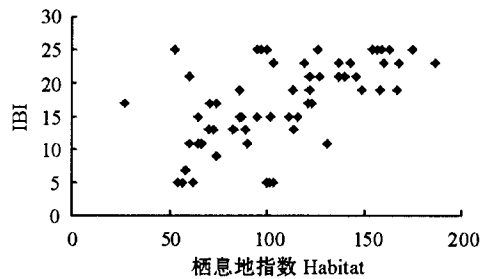


图 2 IBI 分数与栖息地指数的散点图

Fig. 2 Scatter plots between IBI and habitat score

表 6 太子河流域各河流 F-IBI 评价结果

Tab. 6 IBI results for each sampling site in Taizi River basin

采样点 Sampling sites	河流名称 Name of river	断面名称 Name of section	点位性质 Sample character	IBI 值 Value of IBI	健康状况 Condition of health	栖息地质量 Habitat quality
1	太子河北支	抚顺市新宾县土地村	受损点	21	亚健康	122
2	太子河北支	抚顺市新宾县桦树村	参考点	25	健康	157
3	太子河北支	抚顺市新宾县偏砬河村	参考点	25	健康	159
4	太子河北支	抚顺市新宾县黄岗子村	参考点	23	健康	187
5	太子河北支	抚顺市新宾县苇子峪镇	参考点	25	健康	154
8	太子河	本溪县兰河岭镇北岭村	参考点	19	亚健康	167
9	清河	本溪市清源县大岭沟村	参考点	23	健康	137
10	小汤河西支	本溪满族自治县胡家堡村	参考点	23	健康	168
11	小汤河西支	本溪满族自治县刘家沟村	参考点	19	亚健康	158
12	小汤河西支	本溪满族自治县	参考点	21	亚健康	146
13	太子河干流 (观音阁水库坝下)	本溪观音阁	参考点	25	健康	95

续表6 太子河流域各河流 F-IBI 评价结果
 Cont. Tab.6 IBI results for each sampling sites in Taizi River basin

采样点 Sample sites	河流名称 Name of river	断面名称 Name of section	点位性质 Sample character	IBI 值 Value of IBI	健康状况 Condition of health	栖息地质量 Habitat quality
14	太子河干流	本溪县同江峪村	参考点	23	健康	160
15	太子河干流	本溪县中寨子村	受损点	17	一般	121
16	太子河干流	本溪市县偏岭村	受损点	19	亚健康	113
17	南沙河(本溪)	本溪市高官县红石村	参考点	25	健康	126
18	太子河干流	本溪市牛心台县老官砬子村	受损点	17	一般	123
19	太子河干流(本溪市上段)	本溪市	受损点	15	一般	95
20	太子河干流(本溪市区下游)	本溪市	受损点	17	一般	27
21	太子河支流	辽阳市鸡冠山县鸡冠山村	参考点	25	健康	53
22	细河	本溪市北台街道办事处榆树林子村	受损点	11	较差	131
23	细河	本溪市南芬区	受损点	13	较差	89
24	细河	本溪市下马塘县	参考点	25	健康	100
25	太平河	本溪市下马塘县太平山村	参考点	25	健康	163
26	细河	本溪市连山关县北堡村	受损点	19	亚健康	86
27	细河(源头)	本溪市连山关县北小沟村	参考点	21	亚健康	140
28	兰河	辽阳市寒岭县米家堡子村	受损点	17	一般	71
29	兰河(源头)	辽阳市甜水县杨木林子村	参考点	23	健康	143
30	太子河干流(申窝水库坝下)	辽阳市张岭县北沙土坎村	受损点	23	健康	103
31	太子河干流	辽阳市小旋村	受损点	15	一般	102
32	太子河干流	辽阳市梅花村	参考点	21	亚健康	127
33	太子河干流	小屯县	参考点	25	健康	175
34	汤河	辽阳市张岭县安平镇	受损点	11	较差	65
35	汤河(汤河水库坝下)	辽阳市张岭县汤河村	参考点	21	健康	137
36	二道河	辽阳市吉动峪县刚家村	受损点	23	健康	119
37	下达河	辽阳市吉洞峪县曹家堡子村	参考点	25	健康	97
38	下达河	辽阳市隆昌县邱家村	受损点	23	健康	119
39	太子河干流	辽阳市	参考点	15	一般	111
40	太子河干流	辽阳市西马峰县	受损点	17	一般	74
41	北沙河	辽阳市灯塔县西河洪堡村	受损点	7	极差	58
42	北沙河	辽阳市灯塔县羊角村	受损点	13	较差	73
43	北沙河	沈阳市苏家屯区沙河堡县河北村	参考点	15	一般	116
44	北沙河	本溪市头山县村	受损点	13	较差	114
45	太子河干流	辽阳市高家村	受损点	9	极差	74
46	太子河干流	辽阳市小北河镇	参考点	15	一般	65
47	太子河干流 (下游2000m处为南沙河入口)	鞍山市蛤蜊村	参考点	15	一般	86
48	太子河干流	辽阳市唐马寨县村	受损点	13	较差	70
49	南沙河	辽阳市厂家村	受损点	5	极差	57
50	南沙河	辽阳市刘二堡县河南村	无鱼点	5	极差	54
52	太子河干流	海城市高坨县村	受损点	11	较差	66
53	杨柳河	海城市新台子村	无鱼点	5	极差	101
54	滕鳌河	鞍山市滕鳌县村	无鱼点	5	极差	100
55	太子河干流	海城市西开河城村	受损点	13	较差	83
56	海城五道河	海城市西古城村	无鱼点	5	极差	62
57	太子河干流	海城市温香县刘家台村	受损点	11	较差	60
58	太子河干流	海城市牛庄县西子村	受损点	11	较差	67
59	海城河	海城市牛庄县	受损点	5	极差	103
60	海城河	海城市城市下游县	受损点	15	一般	87
61	海城河	海城市马凤县杨马村	受损点	19	亚健康	122
62	孤山河	海城市接文县梨楼堡村	受损点	21	亚健康	60
63	岔沟河	海城市岔沟县胡家村	参考点	19	亚健康	149
64	太子河口	盘锦市大洼县上口子村	受损点	11	较差	90

注: 6、7、51号采样点由于特殊原因未进行样品采集。

3 讨论

3.1 太子河流域的鱼类组成

太子河流域的鱼类组成不同于长江上游和中游浅水湖泊的鱼类组成^[17-18],更不同于国外一些河流中的鱼类组成。这些不同可能是由于它们属于不同地理区域,由环境及动物区系的差异造成的。长江是中国第一大江,不管从水量还是流域面积都较太子河要大,因而其鱼类组成较太子河丰富。Zhu等^[17]于1997—2002年对长江上游鱼类进行了调查,其中宜宾97种,合江120种,穆东91种,宜昌116种。本次在太子河流域的调查中仅有34种鱼类。其原因可能是太子河水域较长江小,再者东北素来是老工业基地,污染相对比长江地区严重,呈现排污相对集中的特点,水体无法在短时间自净,造成鱼类物种数量锐减,一些敏感物种无法生存^[10]。但主要原因还是两者地理差别巨大,生态区域不同使得鱼类组成有很大差别。

3.2 IBI体系构建分析

太子河上游IBI分数的得分一般较高,都在20分以上;支流大部分为健康和亚健康状态,但灯塔县的北沙河健康状况为一般以下。其原因是北沙河位于沈阳市附近,从源头就受到来自这个北方重工业城市的污染。在太子河中下游,因受到大量的城市污染和工厂污染,IBI值明显下降,尤其在49、50、53、54、56、59这6个点位最低,均为最低分(5分)。这6个点位分别位于辽阳的南沙河(49、50),鞍山市的杨柳河(53、54),海城市的五道河(56)和海城河(59),其中50、53、54、56这4个点位环境污染最为严重,河水浑浊,水体呈黑色墨汁状,并散发着臭味,经采样没有鱼类的存在。这符合大型城市和工业区在太子河流域是与环境的改变紧密相连的预想。在这几个点位,可能有大量未经处理的有机物和城市工业废水进入河流。低IBI分数与有机物和工业废水的关系在国外对一些河流的研究中也有报道^[19]。

水库大坝的建立某种程度上可以改变激流鱼类的组成^[20]。因此,水库的建立可能影响IBI分数。虽然水库上、下游鱼类组成应该是类似的,但是在水库下游的点位与水库上游的点位之间亲水性物种和迁移性物种一般不能通过水库和大坝。另一方面,水库充当了首要处理污染物的角色,可能会改善水库下游的水质。例如,30号点位经申窝水

库的处理,健康状况得到了改善,由20、22、28点位的一般/较差变为了健康。但水库的建立会造成河岸带条件的降低,栖息地受到破坏。但30号点位的鱼类总分类单元数要高于栖息地质量得分大于它的22号点位,这证明地理障碍的影响与较差的河岸条件和城市化的增加相比更为复杂。

研究中的另一个影响是河道内的挖沙现象。挖沙导致了河水悬浮颗粒增加和底质趋同,河岸被破坏和侵蚀,降低了鱼类的繁殖,使得生态受到破坏。

在构建F-IBI生物参数时,可通过参数间的Pearson相关分析判断参数间反映的信息是否重叠,但判断标准目前尚不统一。Barbour等^[16]和Blocksom等^[14]采用的是 $|r| > 0.90$,Maxted采用的是 $|r| > 0.75$,本研究中采用Barbour等^[14]和Blocksom等的标准^[16],所得结果更为合理。

3.3 IBI与栖息地质量相关性的分析

本研究中,栖息地质量与IBI显著相关,但栖息地质量得分最高的4号点位其IBI分数并不是最高。这表明单一用栖息地质量评价环境是存在差异的,生态环境质量的好坏还与是否存在栖息地被破坏和潜在的有机物污染有关,但栖息地质量仍为影响环境的主要因素。这表现在城市土地利用和河岸带人工改造与鱼类组成不平衡显著相关,反映在低IBI分数上。大型城市包含工业区,这很容易增加水中的污染物及悬浮颗粒;而富营养化、水温和流量的改变会削减溶解氧的含量,进而影响鱼类的物种丰度。渠道的改建破坏了河岸的结构和功能,使得栖息地简化,结果限制了水生生物的数量。Steedman等^[21]、Whittier等^[22]和Van Sickle等^[23]在研究中也发现上述类似的规律。因此,在今后评价河流健康的深入研究中,应该考虑更多的环境因子的影响。

参考文献:

- [1] 崔保山,杨志峰.湿地生态系统健康评价指标体系:理论[J].生态学报,2002,22(7):1005-1011.
- [2] 崔保山,杨志峰.湿地生态系统健康评价指标体系:方法与案例[J].生态学报,2002,22(8):1231-1239.
- [3] 马克明,孔红梅,关文彬,等.生态系统健康评价:方法与方向[J].生态学报,2001,21(12):2107-2116.
- [4] 崔丽娟,张明祥.湿地评价研究概述[J].世界林业研究,2002,15(6):46-53.
- [5] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. Fisheries,1981,6(6):21-27.
- [6] Karr J R, Chu E. W. Sustaining living rivers [J]. Hydrobiologia,

- 2000,422/423:1-14.
- [7] Silvera M P, Baptista D F, Buss D F, et al. Application of biological measures for stream integrity assessment in southeast Brazil [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 101:117-128.
- [8] Oberdorff T, Hughes R M. Modification of an Index of Biotic Integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France [J]. *Hydrobiologia*, 1992, 228:117-130.
- [9] Ganasan V, Hughes R M. Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India [J]. *Freshwater Biology*, 1998, 40:367-383.
- [10] 刘婵馨, 秦克静. 辽宁动物志 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1987.
- [11] 陈宜瑜, 罗云林, 刘焕章, 等. 中国动物志: 硬骨鱼纲, 鲤形目 (中卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, et al. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates [J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1996, 15 (2):185-211.
- [13] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究 [J]. *环境科学学报*, 2007, 27 (6):928-936.
- [14] Blocksom K A, Kurtenbach J P, Klemm D J, et al. Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LMII) for New Jersey lakes and reservoirs [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 77:311-333.
- [15] 王备新, 杨莲芳, 胡本进, 等. 应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康 [J]. *生态学报*, 2005, 25 (6):1481-1489.
- [16] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish [M]. 2nd edition. Washington D C: U S Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999:192.
- [17] Zhu D, Chang J. Annual variations of biotic integrity in the upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI) [J]. *Ecological Indicators*, 2008 (8):564-572.
- [18] 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.
- [19] Hughes R M, Gammon J R. Longitudinal changes in fish assemblages and water quality in the Willamette River, Oregon [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1987, 116:196-209.
- [20] Bowen Z H, Freeman M C, Watson D L. Index of biotic integrity applied to a flow-regulated river system [J]. *Proceedings of Annual Conference, Southeastern Association Fish and Wildlife Agencies*, 1996, 50:26-37.
- [21] Steedman R J. Modification and assessment of an index of biotic integrity to quantify stream quality in southern Ontario [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1988, 45:492-501.
- [22] Whittier T R, Halliwell D B, Paulsen S G. Cyprinid distributions in northeast U S A lakes: evidence of regional scale minnow biodiversity losses [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, 54:1593-1607.
- [23] Van Sickle J, Baker J, Herlihy A, et al. Projecting the biological condition of streams under alternative scenarios of human land use [J]. *Ecological Applications*, 2004, 14:368-380.

An assessment of ecosystem health in Taizi River basin using F-IBI

SONG Zhi-gang¹, WANG Wei¹, JIANG Zhi-qiang¹, YIN Xu-wang¹,
TAN Shu-rong¹, ZHANG Yuan², MENG Wei²

(1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Agriculture, People's Republic of China, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Fish index of biotic integrity (F-IBI) was used to assess the environmental conditions in Taizi River basin. Five indexes including total number of taxa, total fish catch, percent of subfamily Leuciscinae, percent of tolerant species, and percent of widespread species were selected for the establishment of F-IBI by analysis of reflect disturbance, Pearson correlation and judgment ability performed on 23 candidate metrics in the samples collected from 61 sites (26 reference sites and 35 impaired sites) in Taizi River basin during May of 2009. The values of metrics were calculated by three scoring methods, and F-IBI was established by combination of the 5 indices. The values of IBI were found to be ranged from 5 to 25, IBI = 25-22 for the healthy fish, 21-18 for the sub-healthy, 17-14 for the fair, 13-10 for the poor, and 9-5 for the very poor. The results showed that there were 19 sites for the healthy, 11 sites for the sub-healthy, 12 sites for the fair, 11 sites for the poor and 8 sites for the very poor in Taizi River basin, and there were significant relationship between the IBI values and habitat quality ($P < 0.01$).

Key words: Taizi River basin; fish assemblage structure; IBI; ecological integrity; health assessment