

广西河池地区河流基于鱼类的生物完整性指数 筛选及其环境质量评估

刘 恺¹, 周 伟^{1,*}, 李凤莲², 蓝家湖³

(1. 西南林业大学 保护生物学学院, 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224;
2. 国际野生生物保护学会, 广东 广州 510260; 3. 广西都安县水产局, 广西 河池 530700)

摘要: 为促进生物完整性评价法在中国的应用, 加强珠江上游广西河池地区河流环境质量监测, 该研究以鱼类为研究对象, 初步构建了包含 21 个指标在内的广西河池地区河流基于鱼类的生物完整性评价的指标体系。根据鱼类调查所收集数据, 结合历史资料的记录, 对这些指标进行筛选和赋值, 最终确立了 6 个指标, 用于建立适合广西河池地区河流的基于鱼类的生物完整性指标体系; 应用此指标体系对该地区部分河流 (河段) 进行了评价。评价的结果表明, 小环江鱼类完整性为好; 红水河、龙江和大环江为一般; 刁江为极差。评价的结果与河流受人为干扰的实际情况相吻合, 研究构建的评价体系可供河池周边地区使用和借鉴。生物完整性评价是水域环境质量监测的重要手段, 为使生物完整性评价更加科学和客观, 应加强生物完整性与环境因子之间关系的研究。

关键词: 河流; 生物完整性; 鱼类; 指标体系

中图分类号: Q178.512; X52; Q959.4. **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-5853-(2010)05-0531-08

A fish-based biotic integrity index selection for rivers in Hechi Prefecture, Guangxi and their environmental quality assessment

LIU Kai¹, ZHOU Wei^{1,*}, LI Feng-Lian², LAN Jia-Hu³

(1. Faculty of Conservation Biology in Southwest Forestry University, Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Kunming 650224, China; 2. Wildlife Conservation Society, Guangzhou 5102603, China; 3. Fisheries Bureau of Du'an, Hechi 530700, China)

Abstract: This study aims to develop a multi - metric, fish - based Index of Biological Integrity (IBI) for assessing the environmental quality of rivers in Hechi Prefecture, Guangxi Province, South China. Data on fish assemblage were collected via electrofishing. We screened 21 candidate metrics representing attributes of fish assemblage. Among these, six metrics were finally selected for the IBI. It was shown that the fish-based biological integrity was good in Xiaohuanjiang River, fair in Hongshuihe, Longjiang and Dahuanjiang Rivers, but poor in Diaojiang River. The results of assessment were consistent with the actual situation of human disturbance. The assessment system constructed by this study could be used or used for reference in the area around Hechi. Biotic integrity assessment was an important means of water environment quality monitoring. To enable the biotic integrity assessment more scientific and more objective, much more research work is required to focus on the relationship between biotic integrity and environmental factors.

Key words: River; Biotic integrity; Fish; Index system

生物完整性(biological integrity)是生物群落自身所具有的维持自身平衡、保持结构完整和适应环境变化的能力, 包含该群落在一个地区的天然栖息地中的群落所具有的种类组成、多样性和功能结构特征(Karr & Dudley, 1981)。因此, 生物完整性不仅

是生物自身生存状态的体现, 也是对生物生存的环境质量的一种反映。生物完整性指数(index of biological integrity, IBI)评价体系是通过生态系统中某一类群落(如鱼类)的物种组成、多样性及功能结构方面进行分析, 将其与相应的标准体系比较,

收稿日期: 2010-05-05; 接受日期: 2010-08-05

基金项目: 香港嘉道理农场暨植物园奖学金资助项目 (208604); 西南林学院动物学重点学科 (项目编号 XKX200903)

*通讯作者 (Corresponding author) Email: weizhouyn@163.com

第一作者简介: 刘 恺 (1984 -), 男, 硕士研究生, 主要从事鱼类分类和生物多样性保护研究

然后, 根据分类指标评出选定区域的优劣。IBI 属于生态系统健康评价指标中的适宜程度指标(Zheng, 2006)。Karr (1981)首次以鱼类为研究对象, 采用 IBI 评价河流健康状况, 以弥补传统理化指数评价生态系统健康的不足。之后, 采用 IBI 评价生境质量的方法被广泛使用, 此方法各个环节, 如指标设置、指标筛选、指标赋值方式、评分标准和等级划分等也不断完善, 以至于研究对象扩大到底栖无脊椎动物、浮游生物和鸟类。

目前, 国内对生物完整性的研究还处于起步阶段, 大多以底栖无脊椎动物和浮游生物为研究对象。而基于鱼类的 IBI 评价研究目前仅见于 Zhu & Chang (2004)和 Zheng (2006)。前者是对于一条河流的不同河段进行评价; 后者则是对同一河流相连的若干邻近湖泊以及同一湖泊不同历史时期进行评价。国外已有较多研究者基于一个较大的地理区域, 构建基于鱼类的 IBI 评价体系, 以便各地方政府加强水域环境的监测和管理。尽管鱼类的 IBI 评价法在世界各地广为使用, 但因各个地区鱼类区系不同, 河流自然状况也存在较大差异, 当此方法应用于一个新的评价区时, 其各个环节都必须因地制宜, 要考虑评价区域的实际情况。

本研究以鱼类为研究对象, 初步构建广西河池地区河流基于鱼类的 IBI 评价指标体系, 通过调查收集数据对指标进行筛选和赋值, 确立适合该地区的指标体系, 并将其用于对该地区的部分河流(河段)评价。本研究旨在解决基于鱼类的 IBI 评价体系构建中的实际问题, 促进它在较大地理区域尺度的应用, 加强珠江上游广西河池地区河流环境质量监测和管理。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

河池地处广西西北, 位于云贵高原南麓($23^{\circ}41' - 25^{\circ}37' \text{ N}$, $106^{\circ}34' - 109^{\circ}09' \text{ E}$), 总面积 3.35 万 km^2 (Office of the Hechi City Government, 2010)。河池地区水体主要属于红水河水系和柳江的支流——龙江水系。红水河干流由南至北贯穿本地区, 主要支流有刁江、澄江、盘阳江和布柳河等。龙江为柳江的一级支流, 主要支流有大环江、小环江和天河等。柳江的一条小支流——四堡河流经本地区东北部(图 1)。本区的鱼类区系属于东洋区的南亚亚区和南东亚亚区的交替地带(Lan et al, 1997)。

1.2 评价河流(河段)的选定与数据采集

根据所选的河流(河段)须遵循受到的人为影响类型和强度应尽可能不同的原则(Karr et al, 1986), 经访问调查和野外初步观察后, 确定以红水河(河池河段)、刁江、龙江(河池河段)、小环江和大环江等 5 条河流(河段)作为本研究的评价对象。

根据可操作性和安全性原则, 在调查河流的上、中、下游分别随机选取采样点。2008 年 4 月 4 日至 5 月 7 日和 2009 年 4 月 16 日至 5 月 19 日在野外调查, 共设采样点 21 个(图 1)。雇佣当地渔民, 选取适合各河段的最高效捕捞工具采集鱼类标本。红水河和龙江为非涉水而过河流, 采用电鱼船(配备 18 kW , 28 场管电鱼机)于夜间作业 2 h, 采样河段长度不少于 2 km ; 其他 3 条涉水而过河流使用背负式电鱼机(功率 2 kW , 6 场管)于夜间作业 2 h, 采样河段长度不少于 1 km 。同时, 于当日傍晚 17 时至次日清晨 7 时在调查河段中鱼群经常出没区域(根据渔民经验判断)设置网目为 15 mm 和 50 mm 两种类型的粘网辅助采样。统计捕捞所得渔获物的个体数量, 记录杂交和畸变的种类。在各采样点通过市场购买和访问调查的方式作为鱼类种类调查的补充。调查中不易识别的种类用 95% 的酒精固定保存后带回, 依据 Chen et al (1998)、Yue et al (2000)、Zhu (1995)和 Lan et al (1997)等资料进行鉴定, 参考 Wei et al (2009)确定鱼类的最新分类系统和学名。

1.3 评价指标的设置及筛选原则

初选指标设置遵循全面性和适用性的原则, 借鉴国内外基于鱼类的 IBI 研究所使用的指标设置。

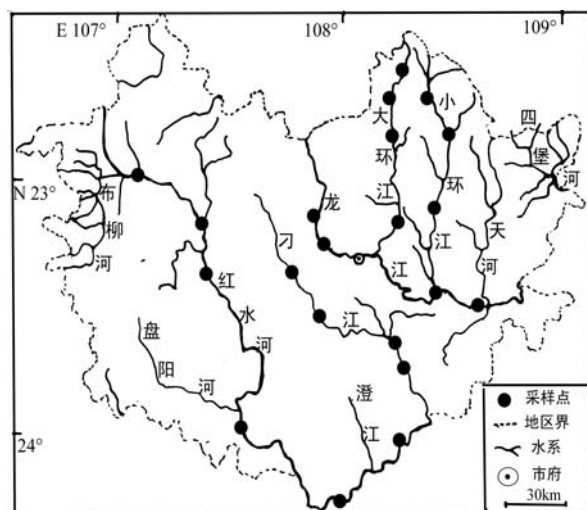


图 1 广西河池地区水系及采样点分布

Fig. 1 River systems and sampling sites in Hechi, Guangxi

根据国内外 IBI 研究的经验,拟定了 3 条指标筛选标准:①种类数指标,若各采样点或评价区域的指标结果均小于 5,应取消;百分比指标,若各采样点或评价区域之间的差异小于 10%,应取消;任何一个指标,若 90%以上采样点或评价区域指标值均为 0,应取消(Zheng, 2006)。②取消因研究水平不足和资料收集不全、没有得出调查结果的指标。③对高度相关的指标,只保留信息含量最大的一个指标。

1.4 参照点的确定与指标赋值

国内外 IBI 研究通常选择不受人类活动干扰或者受干扰小的河流作为参照点(reference sites),或者以历史数据为参照点。在当今社会的人类活动强度下,不受干扰或受者干扰小的河流难以寻觅。所以本研究尽可能以历史数据为参照点确定期望值;如不能使用历史数据的指标,则以调查对象中最好的数据作为期望值,即将受干扰较小的河流(河段)作为参照点。历史数据依照 Lan et al (1997)和 Zheng (1981),因本研究鱼类调查不涉及洞穴鱼类,所以

历史数据中将洞穴鱼类排除在外。指标赋值参照 Karr et al (1986),将各指标分为 1、3、5 分等三个层次,5 分表示采样所得数据与期望值十分接近;3 分属于中等;1 分表示与期望值相差大。

1.5 综合评价

根据 Karr et al (1986)对鱼类完整性划分的 6 个等级对河流进行评价,具体为:没有鱼(0),极差(12—22),差(28—34),一般(40—44),好(48—52),极好(58—60)。若某河流的 IBI 总分介于两个评价等级的分值之间,则该河流的鱼类完整性评价为处于两个评价等级之间的水平。为消除指标数量造成的 IBI 总分差异,采用 Moyle & Randall (1998)的 IBI 总分计算方法,即:IBI 总分=各指标总分/指标个数×12。

2 指标的筛选与赋值

2.1 指标的初步筛选

根据 Zheng (2006)对不同国家和地区鱼类 IBI 指标体系的总结,指标可归类为种类组成和丰度、

表 1 鱼类完整性初选指标及调查结果
Tab. 1 Candidate indices of fish community integrity and their results

项目层 Item level	指标层 Index level	调查结果 Results				
		红水河 ¹	刁江 ²	龙江 ³	小环江 ⁴	大环江 ⁵
种类组成和丰度 Species composition and richness	1 总的种类数占期望值的百分比 (%)	58.2	33.8	48.9	62.5	72.7
	2 鲤科鱼类占总类数的百分比 (%)	58.5	56.0	61.4	55.6	71.9
	3 鲇科鱼类占总类数的百分比 (%)	5.7	4.0	2.3	5.6	3.1
	4 平鳍鲇科鱼类占总类数的百分比 (%)	0	0	0	5.6	0
	5 鱈科鱼类占总类数的百分比 (%)	7.5	8.0	9.1	8.3	6.3
	6 雅罗鱼亚科鱼类占总类数的百分比 (%)	1.9	4.0	0	0	0
	7 鮡亚科鱼类占总类数的百分比 (%)	9.4	16.0	9.1	0	9
	8 野鲮亚科鱼类占总类数的百分比 (%)	17.0	4.0	11.4	11.1	6.3
	9 鲃亚科鱼类占总类数的百分比 (%)	3.8	8.0	11.4	13.9	18.8
	10 鮠亚科鱼类占总类数的百分比 (%)	9.4	4.0	13.6	13.9	18.8
	11 鲴亚科鱼类占总类数的百分比 (%)	3.8	4.0	2.3	5.6	6.3
耐受性 Tolerance	12 敏感型鱼类占总类数的百分比 (%)	30.2	16.0	38.6	47.2	46.9
	13 耐受性强鱼类占总类数的百分比 (%)	18.9	32.0	22.7	11.1	18.8
营养结构 Trophic composition	14 植食性鱼类占总类数的百分比 (%)	22.6	16.0	22.7	30.6	25.0
	15 动物食性鱼类占总类数的百分比 (%)	20.8	28.0	25.0	25.0	21.9
	16 杂食性鱼类占总类数的百分比 (%)	45.3	48.0	40.9	41.7	46.9
	17 肉食性鱼类占总类数的百分比 (%)	11.3	8.0	11.4	2.8	6.3
繁殖共位群 Reproduction guild	18 产粘性卵鱼类占总类数的百分比 (%)	—	—	—	—	—
	19 产漂流性卵鱼类占总类数的百分比 (%)	—	—	—	—	—
鱼类数量和健康状况 Fish abundance and condition	20 单位努力捕捞量	45	31	47	66	38
	21 外表病变或畸变个体的数量	2	0	1	0	0

1: 红水河 (Hongshui River); 2: 刁江 (Diaojiang River); 3: 龙江 (Longjiang River); 4: 小环江 (Xiaohuanjiang Rive); 5: 大环江 (Dahuanjiang River)。

耐受性、营养结构、繁殖共位群、鱼类数量和健康状况等 5 个项目层指标,在其下设置了 21 个初选指标(表 1)。

由于各河流(河段)的鱼类种类数在历史分布上就有很大差异,我们就将总的种类数占期望值的百分数作为评价指标,而不是使用单纯的总的种类数作为指标。这里的期望值就是各河流(河段)的历史数据。因各地区鱼类区系的不同,种类组成指标所使用的分类类群在各地的研究中差异很大。本研究将历史数据中种类大于 5 种的科或亚科作为指标可以使用的分类类群。由于指标数据范围过小,评价对象间的差异无法体现。

根据 Chen et al (1998)、Yue et al (2000)和 Zheng (1981)等资料确定鱼类的耐受性、营养结构和繁殖共位群。本研究将适应缓流或静水的鲃亚科鱼类也视为耐受性强鱼类——野鲮亚科、鲃亚科、鮡亚科、平鳍鳅科和鮠科等急流性鱼类视为敏感型鱼类。此外,列入 CITES、IUCN 和《中国动物红色名录》的鱼类也视为敏感型鱼类。

本研究的单位努力捕捞量所指的是在所调查河段使用适合该河段的最高效捕捞工具进行捕捞时,由单个捕捞工具在单位时间内(1 h)的渔获物个体数量;设多个采样点的河段,该河段的单位努力捕捞量为各个采样点单位努力捕捞量的平均值。

2.2 初选指标的应用

根据鱼类调查结果(附录 I),在各评价河流(河段)共发现鱼类 75 种,其中红水河有 53 种,刁江 25 种,龙江 44 种,小环江 35 种,大环江 32 种。21 个初选指标数据采集处理结果见表 1。

2.3 指标再筛选的讨论

(1)种类组成和丰度。鳅科、平鳍鳅科、鲮科、雅罗鱼亚科和鲮亚科等鱼类占总类数的百分比在各评价河流(河段)之间的差异均小于 10%,这 5 个指标应当删除。

(2)耐受性。由于敏感型和耐受性强的鱼类包含了野鲮亚科、鲃亚科、鮡亚科和鲃亚科等 4 个类群,只保留信息含量大的指标;而将种类组成和丰度项目下的野鲮亚科、鲃亚科、鮡亚科和鲃亚科鱼类占总的种类数的百分比等 4 个指标删除。

(3)营养结构。动物食性、杂食性和鱼食性鱼类占总的种类数的百分比 3 个指标在各评价河流(河段)之间的差异均小于 10%,这 3 个指标应删除。

(4)繁殖共位群。由于鱼类基础生态学研究的困

难和不足,本研究调查到的鱼类有相当一部分无法获知其产卵类型,因而该项目下的两个初选指标无法获得数据结果,应删除。

(5)鱼类数量和健康状况。外表病变或畸变个体的数量这一指标在各评价河流(河段)的调查结果均小于 5,应当删除。

根据指标筛选的结果,本研究最终确定了 6 个 IBI 的评价指标(表 2)。

表 2 鱼类完整性指标赋值标准
Tab. 2 Scoring criteria of fish community integrity

指标 Index	Expectation 期望值	赋值标准 Scoring criteria		
		1*	3*	5*
1 总的种类数占期望值的百分比(%) Total number of species in % of expectation	73	<44	44-68	>68
2 鲤科鱼类占总种类数的百分比(%) Cyprinid species in % of total number of species	52	>70	55-70	<55
3 敏感型鱼类占总种类数的百分比(%) (%) Sensitive species in % of total number of species	45	<22	22-42	>42
4 耐受性强鱼类占总种类数的百分比(%) Tolerant species in % of total number of species	15	>28	18-28	<18
5 植食性鱼类占总种类数的百分比(%) (%) Herbivorous species in % of total number of species	25	<12	12-22	>22
6 单位努力捕捞量 The catch per unit of effort	66	<40	40-57	>57

*: 河流代码同表 1 (River codes are consistent with Tab. 1)。

2.4 赋值标准的确定

本研究评价对象的 5 条河流(河段)都有各自的历史数据。但是,总的种类数占期望值的百分比和单位努力捕捞量这两个指标无法使用历史数据作为期望值。因此,这两个指标以调查指标数据中最好的数据为期望值。由于期望值表达的意思是各指标期望达到的最理想状态,我们就将 5 条河流(河段)各个指标中最好的历史数据作为期望值。最终确定的赋值标准如表 2 所示。

3 综合评价结果

根据指标的调查结果和评分标准,通过计算得出了 5 条评价河流(河段)的鱼类完整性分值(表 3)。参照 Karr et al (1986)的评价等级和评价内容,在本次鱼类完整性评价中,小环江为好,除种类组成与丰度略低于期望值外,其余指标均与期望值十分接近,反映该河流受到的人为干扰较少;红水河、龙江和大环江为一般,耐受性差的种类丧失、较少的

种类和数量下降，杂食性和耐受力强的种类的频度增加使营养结构偏斜，表明环境恶化的讯号增加；刁江为极差，除耐受性强的杂食性种类外，鱼类较少，表明河流受人为活动干扰严重。

4 讨 论

4.1 评价结果与实际情况的符合程度

期望值的大小决定着各指标得分的高低。本文确定期望值时，有两个指标用的是调查数据中最好的数据，在现在人为活动影响强度下，不受干扰的河流几乎不存在，这就造成了各评价河流(河段)在这两项指标的得分上比实际情况偏高，从而使得 IBI 的总分比实际情况偏高，评价结果比实际状况偏好。因此，使用 IBI 评价时，为使评价结果更接近真实状态，应尽量使用历史数据作为期望值。此外，历史数据还是指标设置和初步筛选重要依据，IBI 评价研究中应当十分重视对历史数据的收集。

表 3 鱼类完整性的评分
Tab. 3 Scores of fish community integrity

项目 Item	红水河 ¹	刁江 ²	龙江 ³	小环江 ⁴	大环江 ⁵
1 总的种类数占期望值的百分比 Total number of species in % of expectation	3	1	3	3	5
2 鲤科鱼类占总种类数的百分比 Cyprinid species in % of total number of species	3	3	3	3	1
3 敏感型鱼类占总种类数的百分比 Sensitive species in % of total number of species	3	1	3	5	5
4 耐受性强鱼类占总种类数的百分比 Tolerant species in % of total number of species	3	1	3	5	3
5 植食性鱼类占总种类数的百分比 Herbivorous species in % of total number of species	5	3	5	5	5
6 单位努力捕捞量 The catch per unit of effort	3	1	3	5	1
累计 Total	20	10	20	26	20
IBI 总分 IBI Scores	40	20	40	52	40
IBI 等级 IBI Classes	一般	极差	一般	好	一般

河流代码同表 1 (River codes are consistent with Tab. 1).

据 Lu (2004)报道，红水河、刁江和大环江受沿岸采选矿污水的影响较大，尤其是刁江严重污染时，主要水质指标超出标准值 60 多倍，是污染最为严重的河流；龙江两岸是河池地区经济较发达的河池市和宜州市，接纳工业和生活污水较多；而小环江，由于相对偏远，经济落后，受污染较小。虽然红水河和龙江的水量较大，对污染的自净化能力

较强，但沿河梯级电站开发对河流环境存在较大影响。因此，本研究评价得出小环江鱼类完整性最好，红水河、龙江江和大环江次之，刁江最差，这亦与河流受人为干扰的实际情况是相吻合的。

4.2 IBI 评价法的局限性和适用性

IBI 评价方法有其自身的局限性，它只考虑物种的丰度(多少)，而没有考虑均匀性的问题。该方法本身比较适合有一定规模的河流，对小河或者溪流因其鱼类区系组成就简单，难以完全适用。尽管如此，IBI 评价法还是值得借鉴和在我国推广使用。首先，我国目前使用的河流环境评价大多运用理化指标等非生物的评价法。与此相比，IBI 评价法有其自身的优点，它能更直接地反映环境变化对生物的影响。其次，就国外的情况来看，IBI 的研究和应用已近 30 年，已形成一套较为完善的生物指标评价体系，其评价结果的合理性也在许多地区的应用中得到验证。再次，虽然 IBI 方法仅局限适用于一定规模的河流，不适合小河或溪流，但这在一定程度上也正好符合我国的国情。在我国，由于人类活动主要集中在大的江河流域，具一定规模的河流受到的人为干扰比小河或溪流更为强烈，也更需要运用，如 IBI 一类的方法对其环境进行评价和监测。

IBI 评价法在使用时需特别注意初选指标设置的全面性，以防遗漏能够体现群落变化的关键指标。本文根据 Zheng (2006)对不同国家和地区鱼类 IBI 指标体系的总结，设置了 5 大类指标。在本文，指标设置最为全面的是种类组成和丰度项目下的指标，这是因为记录河池地区鱼类历史分布的资料较完整；而在其他项目下，因对鱼类生态学基础研究不足，可供选择和使用的指标受到限制，不够全面。因此，以鱼类为对象的 IBI 评价方法在使用时，需选择有一定鱼类学研究基础的地区进行，这也正是我国基于鱼类 IBI 评价法推广使用的瓶颈。

4.3 生物完整性与环境的关系

Karr (1981)认为“一个良好的水域生态环境，必然存在一个完善的生物群落结构”，提出用 IBI 评价水环境质量。这一概念的提出弥补了传统水域环境质量监测只采用理化方法的不足，生物监测和理化监测相结合才能真正体现生态系统的结构和功能现状。因此，IBI 的评价方法作为一种环境监测手段和生态系统健康评价手段被广泛使用。然而，IBI 评价体系中所使用的指标主观性较强，研究者往往凭借自己的经验选取随环境质量变化的

指标。实际上,某些指标的改变并非是由环境质量变化引起的,例如鱼类种群数量的下降也有可能是过度捕捞造成的。因此,深入研究生物完整性与环境因子之间的关系对于 IBI 评价体系的完善很有必要。Larry (2000) 采用相关性分析方法来研究生物完整性各指标与各种环境因子间的相关性,这也是

今后 IBI 研究的一个重要方向。

致谢: 西南林业大学动物学专业 2008 级硕士研究生徐万吉参加部分野外采集,在此表示谢意! 特别感谢为本论文的修改提出宝贵意见和建议的审稿专家!

参考文献:

- Chen YY et al. 1998. Fauna Sinica (Osteichthyes: Cypriniformes II) [M]. Beijing: Science Press. [陈宜瑜等. 1998. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目: 中卷[M]. 北京: 科学出版社.]
- Karr JR, Dudley DR. 1981. Ecological perspective on water quality goals [J]. *Environ Manage*, 5: 55-68.
- Karr JR, Fausch KD, Angermeier PL, Yant PR, Schlosser IJ. 1986. Assessing biological integrity in running waters: A method and its rationale [R]. *Illinois Natural History Survey Species Publication*, 5: 28.
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. *Fisheries*, 6 (6): 21-27.
- Lan JH, Lan HD, Chen YJ, Chen JX, He CC. 1997. The Ichthyofauna of Hechi Prefecture of Guangxi and its Zoogeographical Analysis [C]// China Ichthyological Society. Transactions of the Chinese Ichthyological Society. Beijing: Science Press, 120-129. [蓝家湖, 蓝浩东, 陈跃进, 陈景星, 何长才. 1997. 广西河池地区鱼类区系及动物地理学分析//中国鱼类学会. 鱼类学论文集. 北京: 科学出版社, 120-129.]
- Larry RB. 2000. Fish communities and their associations with environmental variables lower San Joaquin River drainage, California [J]. *Environ Biol Fish* 57: 251-269.
- Lu SX. 2004. Water contamination assessment and control measures in rivers of Hechi, Guangxi [J]. *Water Resour Protect*, 4: 41-43. [陆尚旭. 2004. 河池地区江河水质污染现状评价及防治对策. 水资源保护, 4: 41-43.]
- Moyle PB, Randall RJ. 1998. Evaluating the biotic integrity of watersheds in the Sierra Nevada, California [J]. *Conserv Biol*, 12(6): 1318-1326.
- Office of the Hechi City Government. 2010. General situation of Hechi [EB/OL]. <http://www.gxhc.gov.cn/hcgk/>. 2010-6-21. [河池市人民政府办公室. 2010. 河池概况. <http://www.gxhc.gov.cn/hcgk/>. 2010-6-21.]
- Wei RF, Zheng LP, Chen XY, Yang JX. 2009. Investigation of Fish resources in Hechi prefecture of Guangxi province, with comparison of fish biodiversity between two tributaries [J]. *Zool Res*, 30(2): 185-194. [韦日锋, 郑兰平, 陈小勇, 杨君兴. 2009. 广西河池地区鱼类资源调查及两支流的鱼类多样性比较. 动物学研究, 30(2): 185-194.]
- Yue PQ et al. 2000. Fauna Sinica (Osteichthyes: Cypriniformes III) [M]. Beijing: Science Press. [乐佩琦等. 2000. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目: 下卷[M]. 北京: 科学出版社.]
- Zheng BS. 1981. Freshwater Fishes Guangxi [M]. Nanning: Guangxi People's Publishers. [郑葆珊. 1981. 广西鱼类志. 南宁: 广西人民出版社.]
- Zheng HT. 2006. Evaluating the biotic integrity of up and middle reaches of Nuijiang River based on fish assemblages [D]. M. D. thesis, Huazhong Agricultural University. [郑海涛. 2006. 怒江中上游鱼类生物完整性评价. 华中农业大学硕士学位论文.]
- Zhu D, Chang JB. 2004. Evaluation on temporal and spatial changes of biological integrity for shallow lakes in the middle reach of the Yangtze River [J]. *Acta Ecol Sin*, 24(12): 2762-2766. [朱迪, 常剑波. 2004. 长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化. 生态学报, 24(12): 2762-2766.]
- Zhu SQ. 1995. Synopsis of Freshwater Fishes of China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House. [朱松泉. 1995. 中国淡水鱼类检索. 南京: 江苏科学技术出版社.]

附录 1 评价河流(河段)的鱼类名录和分布(洞穴鱼类除外)

Appendix 1 List and distribution of fishes in assessed rivers or reaches (except cave fishes)

分类阶元 Taxa	红水河 ¹	刁江 ²	龙江 ³	小环江 ⁴	大环江 ⁵	分类阶元 Taxa	红水河 ¹	刁江 ²	龙江 ³	小环江 ⁴	大环江 ⁵
鲴科 Dasyatidae						7. 瑶山鲤 <i>Yaoshanicus arcus</i>		H	H		
1. 赤鲴 <i>Dasyatis akajei</i> (NT)					H	8. 南方波鱼 <i>Rasbora steineri</i>	H			H	
鳗鲡科 Anguillidae						雅罗鱼亚科 Leuciscinae					
2. 日本鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	H+	H+	H			9. 青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	H	H	H		
3. 花鳗鲡 <i>Anguilla marmorata</i>	H					10. 鲸 <i>Luciobrama macrocephalus</i> (VU)	H	H			
脂鲤科 Characidae						11. 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	H+	H+			
4. 短盖巨脂鲤 <i>Colossoma brachypomun</i>	H		H			12. 赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	H	H			
鲤科 Cyprinidae						13. 鲮 <i>Ochetobius elongatus</i>	H	H			
鱼丹亚科 Danioninae						14. 鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	H	H			
5. 宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>			H	H+	H+	鲃亚科 Cultrinae					
6. 马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	H+	H	H+	H+	H+	15. 细鳊 <i>Metzia lineatus</i>	H+	H	H		H

(续下表)

(接上表)

分类阶元 Taxa	红 水 河 ¹	刁 江 ²	龙 江 ³	小 环 江 ⁴	大 环 江 ⁵	分类阶元 Taxa	红 水 河 ¹	刁 江 ²	龙 江 ³	小 环 江 ⁴	大 环 江 ⁵
16. 大眼华鲮 <i>Sinibrama macrops</i>			H+	H	H	53. 广西副鳞 <i>Paracheilognathus meridianus</i>					H
17. 海南华鲮 <i>Sinibrama melrosei</i>			H	H	H	54. 高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	+	+		+	+
18. 飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	H	H				鲮亚科 <i>Barbinae</i>					
19. 寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	H	H				55. 光倒刺鲮 <i>Spinibarbus hollandi</i>	H	H	H	H+	H+
20. 餐条鱼 <i>Hemiculter leucisculus</i>	H+	H+	H+	H	H+	56. 倒刺鲮 <i>Spinibarbus denticulatus</i>	H+	H+	H+	H	H
21. 金华拟餐 <i>Pseudohemiculter kinghwaensis</i>			H			57. 条纹小鲮 <i>Puntius semifasciolata</i>	H	H	H	H	H+
22. 南方拟餐 <i>Pseudohemiculter dispar</i>	H+	H+	H+	H	H+	58. 大鳞金线鲮 <i>Sinocyclocheilus macrolepis</i>	H				
23. 海南似鱼乔 <i>Toxabramis houdermeri</i>	H+	H+				59. 多斑金线鲮 <i>Sinocyclocheilus</i>	H				
24. 海南鲃 <i>Culter recurviceps</i>			H+		+	<i>multipuntatus</i>					
25. 大眼近原鲃 <i>Ancherythroculter lini</i>	H+	H+	H			60. 单纹似鲃 <i>Luciocyprinus langsoni</i> (VU)	H	H	H		
26. 鲃 <i>Parabramis pekinensis</i>	H	H	H			61. 侧条光唇鱼 <i>Acrossocheilus parallens</i>			H	H+	+
27. 三角鲂 <i>Megalobrama terminalis</i>	H	H				62. 带半刺光唇鱼 <i>Acrossocheilus hemispinus</i>			H	H	
28. 团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	H		H			63. 细身光唇鱼 <i>Acrossocheilus malacopterus</i>	H	H	H+	H	+
鲃亚科 <i>Xenocyprinae</i>						64. 虹彩光唇鱼 <i>Acrossocheilus iridescens</i>	H	H+	H+	H+	H+
29. 银鲃 <i>Xenocypris argentea</i>	H	H				65. 云南光唇鱼 <i>Acrossocheilus yunnanensis</i>	H				
30. 细鳞鲃 <i>Xenocypris microlepis</i>			H			66. 多耙光唇鱼 <i>Acrossocheilus clivosius</i>				+	
鲢亚科 <i>Hypophthalmichthyinae</i>						67. 北江光唇鱼 <i>Acrossocheilus beijiangensis</i>				+	+
31. 鲢 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	H+	H				68. 长鳍光唇鱼 <i>Acrossocheilus longipinnis</i>			+		
32. 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	H+	H				69. 南方白甲鱼 <i>Onychostoma gerlachi</i>	+		+		
鲃亚科 <i>Gobioninae</i>						70. 小口白甲鱼 <i>Onychostoma lini</i> (VU)			H		
33. 唇鱼骨 <i>Hemibarbus labeo</i>	H	H	H	H	H	71. 菱形白甲鱼 <i>Onychostoma ovale</i>			H		
34. 花鱼骨 <i>Hemibarbus maculatus</i>	H+	H	H+	H+	H+	<i>rhomboids</i>					
35. 麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	H+	H+	H+	H+	H+	72. 稀有白甲鱼 <i>Onychostoma rara</i> (EN)	H		H		
36. 小鰾 <i>Sarcocheilichthys parvus</i>			H+			73. 瓣结鱼 <i>Tor brevifilis brevifilis</i>	H	H	H	H	H
37. 黑鳍鰾 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>			H			74. 叶结鱼 <i>Tor zonatus</i> (VU)	H	H	H		
38. 银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	H+	H	H+	H+	H+	野鲮亚科 <i>Labeoninae</i>					
39. 点纹银鲃 <i>Squalidus wolterstorffi</i>	+		+	H	+	75. 桂孟加拉鲮 <i>Bangana decora</i>	H		H		
40. 似鲃 <i>Pseudogobio vaillanti</i>			H	H		76. 盆唇孟加拉鲮 <i>Bangana discognathoides</i>	H				
41. 棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	H+	H	H+	+	+	77. 露斯塔野鲮 <i>Labeo rohita</i>	H+		H		
42. 福建小鰾 <i>Microphysogobio fukiensis</i>			H+	H	H+	78. 鲮 <i>Cirrhinus molitorella</i>	H+	H	H	H+	
43. 建德小鰾 <i>Microphysogobio tafangensis</i>				H		79. 纹唇鱼 <i>Osteochilus salsburyi</i>	H+	H	H		
44. 长体小鰾 <i>Microphysogobio elongatus</i>			H	H		80. 直口鲮 <i>Rectoris posehensis</i>	H+	H	H+	H+	H+
45. 乐山小鰾 <i>Microphysogobio</i>			H			81. 巴马拟缨鱼 <i>Pseudocrossocheilus</i>	H+	H+	H+		
<i>kiatingensis</i>						<i>bamaensis</i>					
46. 似鲮小鰾 <i>Microphysogobio labeoides</i>			H	H		82. 柳城拟缨鱼 <i>Pseudocrossocheilus</i>	H		H		
47. 蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	H	H	H	H+	H	<i>liuchengensis</i>					
48. 片唇鲃 <i>Platysmacheilus exiguous</i>				H		83. 长体异华鲮 <i>Parasinilabeo longicarpus</i>	H				
鳅亚科 <i>Gobiobotinae</i>						84. 唇鲮 <i>Semilabeo notabilis</i>	H+	H	H+		
49. 海南鳅鲃 <i>Gobiobotia kollerii</i>		H				85. 暗色唇鲮 <i>Semilabeo obscurus</i> (VU)	H				
鲃亚科						86. 卷口鱼 <i>Ptychidio jordanii</i>	H+	H	H+	+	
50. 越南鲮 <i>Acheilognathus tonkinensis</i>	H+	H	H+	H+	H+	87. 东方墨头鱼 <i>Garra orientalis</i>	H+	H	H		
51. 大鳍鲮 <i>Acheilognathus marcopterus</i>		H				88. 宽头盘鲃 <i>Discogobio laticeps</i>	H+				
52. 短须鲮 <i>Acheilognathus barbatulus</i>				H		89. 四须盘鲃 <i>Discogobio tetrabarbatulus</i>	H+	H	H+	H+	H+

(续下表)

(接上表)

分类阶元 Taxa	红 水 河 ¹	刁 江 ²	龙 江 ³	小 环 江 ⁴	大 环 江 ⁵	分类阶元 Taxa	红 水 河 1	刁 江 2	龙 江 3	小 环 江 4	大 环 江 5
鲤亚科 Cyprininae						119. 条纹鲃 <i>Pseudobagrus virgatus</i>	+		+		
90. 乌原鲤 <i>Procypris merus</i> (VU)	H	H	H+			120. 斑鲃 <i>Mystus guttatus</i>	H+	H+	H+	+	+
91. 三角鲤 <i>Cyprinus multitaeniata</i>	+	+	+			121. 大鳍鲃 <i>Mystus macropterus</i>				H	H
92. 鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	+	+	+	+	+	鲃科 Sisoridae					
93. 鲫 <i>Carassius auratus</i>	+	+	+	+	+	122. 福建纹胸鲃 <i>Glyptothorax fokiensis fokiensis</i>				+	+
鲃科 Cobitidae						青鳉科 Oryziatidae					
94. 平头岭鲃 <i>Oreonectes platycephalus</i>	H					123. 青鳉 <i>Oryzias latipes</i> (VU)	H	H			
95. 横纹南鲃 <i>Schistura fasciolata</i>	H+	H	H	H+	H	胎鳉科 Poeciliidae					
96. 壮体沙鲃 <i>Botia robusta</i>	H	H	H			124. 食蚊鱼 <i>Gambusia affinis</i>	H+	H+	H+	H	H
97. 美丽沙鲃 <i>Botia pulchra</i>				H		合鳃鱼科 Synbranchidae					
98. 花斑副沙鲃 <i>Parabotia fasciata</i>	H	H	H			125. 黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	H+	H+	H+	H+	H
99. 后鳍薄鲃 <i>Leptobotia posterodorsalis</i>				H	H	鲈科 Serranidae					
100. 斑纹薄鲃 <i>Leptobotia zebra</i>				H	H	126. 中国少鳞鳊 <i>Coreoperca whiteheadi</i>	H+	H	H	H	H
101. 大斑薄鲃 <i>Leptobotia pellegrini</i>		H	H			127. 波纹鳊 <i>Siniperca undulate</i> (VU)				H	
102. 中华花鲃 <i>Cobitis sinensis</i>	H+	H				128. 暗鳊 <i>Siniperca obscura</i>				H	
103. 泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	H+	H+	H+	H+	H+	129. 斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>	H	H	H+	H	H+
平鳍鲃科 Homalopteridae						130. 大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	H+	H+	H+		
104. 平舟原缨口鲃 <i>Vanmanenia pingchowensis</i>			H	H+	H	丽鱼科 Cichlidae					
105. 中华原吸鲃 <i>Protomyzon sinensis</i>				H+		131. 莫桑比克非鲫 <i>Tilapia mossambicus</i>	H+		H+		+
106. 贵州爬岩鲃 <i>Beaufortia kweichowensis kweichowensis</i>			H	H	H	塘鳢科 Eleotridae					
鲃科 Siluridae						132. 海南细齿塘鳢 <i>Philypnus chalmersi</i>	H+				
107. 西江鲃 <i>Silurus gilberti</i>				H+		133. 大鳞细齿塘鳢 <i>Philypnus hainanensis</i>	H		H		
108. 越南鲃 <i>Silurus cochinchinensis</i>	H+	H+	H	H	H	鰕虎鱼科 Gobiidae					
109. 鲃 <i>Silurus asotus</i>	H+	H	H+	H+	H+	134. 粘皮鰕虎鱼 <i>Mugilogobius myxodermus</i>		H			
110. 大口鲃 <i>Silurus meridionalis</i>	H+	+				135. 子陵吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	H+	H+	H+	H+	H
111. 都安鲃 <i>Silurus duanensis</i>	H					136. 溪吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius duospilus</i>			H	H	H
胡子鲃科 Clariidae						137. 褐栉吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius brunneus</i>	H	H	H	H	H
112. 胡子鲃 <i>Clarias fuscus</i>	H+	H+	H+	H+	H+	斗鱼科 Belontiidae					
113. 尖齿胡子鲃 <i>Clarias gariepinus</i>	H		H			138. 叉尾斗鱼 <i>Macropodus opercularis</i>	H	H	H+	H	H
长臀鲃科 Cranoglanididae						鰾科 Channidae					
114. 长臀鲃 <i>Cranoglanis boudierius boudierius</i> (VU)	H	H	H			139. 斑鰾 <i>Channa maculate</i>	H+	H	H+	H	H
鲃科 Bagridae						140. 月鰾 <i>Channa asiatica</i>	H+	H	H+	H+	H
115. 黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvdraco</i>			H+	+	+	刺鲃科 Mastacembelidae					
116. 中间黄颡鱼 <i>Pelteobagrus intermedius</i>	H					141. 大刺鲃 <i>Mastacembelus armatus</i>	H+	H+	H+	H+	H+
117. 瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	H+	H+	H			小 计	91	74	90	56	44
118. 粗唇鲃 <i>Leiocassis crassilabris</i>	H+	H	H+	H+	H	历史记录种类					
						本次调查种类	53	25	44	35	32

河流代码同表 1 (River codes are consistent with Tab. 1); H: Lan et al (1997) 记录分布[Distribution recorded by Lan et al (1997)]; +: 本次调查分布(Distribution recorded by this survey); EN: 濒危(Endangered); VU: 易危(Vulnerable); NT: 近危(Near threatened)。