

云南昭通横江流域水体生物状况与河湖健康评价

杨晓燕¹, 吴程², 唐佐芯¹, 凌祯¹, 王焯³, 徐杉¹, 侯秀丽¹,
何永健¹, 孟涵¹, 姜冉冉¹, 吕嘉诚¹, 夏体渊^{1*}

(1. 昆明学院 农学与生命科学学院, 云南 昆明 650214;

2. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650031;

3. 云南省农业科学院 农业环境资源研究所, 云南 昆明 650205)

摘要: 为了解云南昭通横江流域的河流健康状况, 将该流域分为河流段和水库段, 以“底栖动物 Hilsenboff 生物指数”“鱼类保有指数”“浮游植物密度”和“外来水生动植物”为指标对水体生物状况进行健康评价. 结果表明: 以上 4 个指标的得分分别为 100 分、28.91 分、66.59 分、100 分, 汇总计算得出横江流域的生物状况得分为 68.28 分, 属于亚健康状态, 说明该流域生物健康状况存在一定的缺陷, 应及时进行治理修复.

关键词: 横江; 生物状况; 河湖健康评价; Hilsenboff 生物指数

中图分类号: X826; X835 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674 - 5639 (2022) 06 - 0102 - 08

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2022.06.017

Water Biological Status and Health Assessment of River and Lake in Hengjiang River Basin, Zhaotong, Yunnan

YANG Xiaoyan¹, WU Cheng², TANG Zuoxin¹, LING Zhen¹, WANG Chi³, XU Shan¹,
HOU Xiuli¹, HE Yongjian¹, MENG Han¹, JIANG Ranran¹, LV Jiacheng¹, XIA Tiyuan^{1*}

(1. School of Agronomy and Life Sciences, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214;

2. Kunming Engineering Corporation of Power China, Kunming, Yunnan, China 650031;

3. Institute of Agricultural Environment and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming Yunnan, China 650205)

Abstract: In order to understand the river health status of Hengjiang River Basin in Zhaotong, Yunnan Province, the basin was divided into river section and reservoir section, and the health status of water organisms was evaluated by using “Hilsenboff index of benthic fauna”, “fish retention index”, “phytoplankton density” and “Exotic aquatic plants and animals” as indicators. The results showed that the scores of the above four indicators were 100 points, 28.91 points, 66.59 points and 100 points respectively, and the total score of the biological condition of Hengjiang River Basin was 68.28 points, which belonged to the sub-health state, indicating that there were certain defects in the biological condition of the basin, which should be Restored in time.

Key words: Hengjiang River Basin; biological condition; health assessment of river and lake; Hilsenboff biological health index

河流是地球表面水资源的主要载体, 是生态系统维持健康的重要生态因子^[1]. 我国地大物

博, 幅员辽阔, 河流水系也纵横交错, 水资源较为丰富, 但随着我国人口的迅速增长和工农业的

收稿日期: 2022 - 05 - 25

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (2022Y701); 云南省大学生创新创业训练计划项目 (202111393002, 202111393004).

作者简介: 杨晓燕 (1996—), 女, 云南大理人, 硕士研究生, 主要从事资源利用与植物保护研究.

*通信作者: 夏体渊 (1978—), 男, 云南宣威人, 研究员, 博士, 主要从事山区农业可持续发展研究, E-mail: 149162175@qq.com.

快速发展, 河流持续承受各种人为因素或非人为因素的影响, 导致当下的河流健康管理面临严峻的考验^[2,3]. 河流健康评价是日常河流管理必不可少的部分, 也是推进河长制有效推进的主要途径^[4,5]. 其评价方法是河流健康评价过程中重要部分^[6]. 其中, 指示生物评估法是以生物为对象, 通过对其数量、生物量、生产力、结构功能指标的变化来评估目标河流的健康状态的一种评估法^[7], 而大型底栖无脊椎动物和鱼类常被作为指示生物^[8]. 已有许多研究者^[9-14]采用该类方法对目标河流进行健康评价.

云南省昭通市辖区内河流众多, 是云南省河长制管理中的重要对象, 据初步统计, 被纳入河长制管理的河流就有 402 条, 各类水库达 227 座以上^[15]. 其中, 横江是被纳入河长制管制的目标水域之一. 横江流域地处高原季风气候, 易受季风和高海拔的影响, 干湿季节分明. 流域多年平均降水量在 1 000 ~ 1 300 mm 之间, 水资源总量丰富^[16]. 然而, 横江沿岸河道的管理责任落实不够到位^[17], 两岸已发现因采砂而乱堆杂物的现象, 多地还发现有建筑垃圾、生活垃圾倾倒入河的现象. 此外, 农药、化肥的大量施用, 也造成了横江农业面源污染^[17]. 横江, 作为昭通市重要河流, 其流域健康评估工作是开展横江管理与保护的坚实基础和首要任务, 也将为云南省河长制的推进奠定良好的基础.

本研究以云南省昭通市横江流域为研究对象, 通过资料搜集和复核、河流健康方案的构建、调查取样与监测分析, 依据“指标体系”规定的权重对相关指标进行计算^[18], 实现对横江健康生物状态的监测, 并在此基础上分析存在的问题, 从而有针对性地提出相应的保护对策. 研究结果有利于尽快建立昭通市横江生物状况的健康档案, 也是对云南省昭通市河长制推进以来保护管理成效的检验, 还能为着力提升河流管理保护的能力、开展河湖精确治理提供技术支撑, 并为其他地区提供参考, 为实现河流功能永续利用提供保障.

1 研究区域与调查方法

1.1 研究区域概况

横江为金沙江右岸一级支流, 位于 103.18° ~ 104.56°E, 26.54° ~ 28.38°N^[19]. 流经贵州省威宁县, 云南省彝良县、大关县、盐津县、水富县, 并在水富县云富镇流入金沙江. 其全长 306 km, 径流面积 14 980 km², 在云南省境内河长 241.4 km, 云南境内积水面积 11 532 km², 占昭通市土地总面积的 50.14%, 天然落差 2 080 m, 年径流总量约 8.82 × 10⁹ m³, 多年平均流量约 280 m³/s^[20]. 在云南境内, 流域上段称洛泽河, 中段称关河, 下段称横江, 主要支流有昭鲁大河、大关河、白水江等. 其中, 昭通市境内的横江段主要分为盐津段、水富段, 其基本信息如表 1 所示.

表 1 昭通市境内的横江段基本信息

名称	全长/km	区域面积/km ²	水量/m ³ ·s ⁻¹	支流	流经地
盐津段	120.00	2 422.00	230.40	关河、白水江、干溪沟、宝隆河、上清河、沿江河、黑眼溪	柿子镇、盐井镇、中和镇、落雁乡、普洱镇、滩头镇 6个乡镇 25个村、社区
水富段	43.85	395.80	292.98	最大支流为太平河	两碗镇、向家坝镇、云富街道办事处 3个镇办 13个村社区

1.2 调查内容与方法

1.2.1 调查内容

采用“文献资料法”^[21]对云南昭通横江所在区域的气象、水文、地质、土壤、植被等基础资料进行收集和复核. 依据国家监控点和云南省监

控点对横江盐津段和水富段设置了 7 个监测断面, 按照横江周边土壤的利用状况的差异性和特点, 将其分为河流段和水库段 2 种分段类型进行生物状况的健康调查, 具体的评价河段和监测断面如表 2 所示.

表 2 横江流域健康评价的河段和监测断面

监测点	评价河段	评价河长/km	具体位置
01		11.24	盐津县两河口 - 盐津县植保质检站
02		20.43	盐津县植保质检站 - 盐津县鲇鱼洞
03	河流段	20.56	盐津县鲇鱼洞 - 盐津县大木滩
04		41.26	盐津县大木滩 - 盐津县栏杆子
07		37.17	水富市水河村 - 水富市水富港
05	水库段	15.89	盐津县栏杆子 - 水富市杨柳滩
06		17.31	水富市杨柳滩 - 水富市水河村

1.2.2 调查与评价方法

参考《云南省河湖库渠健康评价指南(试行)》^[18]中的评价指标体系,河流生物状况指标评价按照:河流段采用“底栖动物 Hilsenboff 生物指数”(HBI)和“鱼类保有指数”(FOEI)进行调查;水库段采用“浮游植物密度”和“外来水生动植物”进行调查^[22-25].其中,鱼类调查取样监测可按《淡水渔业资源调查规范河流》(SC/T 9429—2019)等鱼类调查技术标准确定^[26];底栖动物依据《生物多样性观测技术导则淡水底栖大型无脊椎动物》(HJ 710.8—2014)进行采集与鉴定^[27];外来水生动植物可通过收集到的水文资料、相关文献资料以及走访当地居民获得的信息获得.

“浮游植物密度”通过取水样进行监测获得,取水样方法为:将有机玻璃采水器采集的水样倒入装有鲁格试剂(水样体积 15%)采样瓶中固定保存浮游植物,带回实验室后进行浮游植物密度的鉴定.

生物状况指标的赋分标准如表 3 所示.各生物状况指标获取方法如下:1)底栖动物 Hilsenboff 生物指数(HBI)采用下式计算:

$$HBI = \sum_{i=1}^n n_i t_i / N, \quad (1)$$

式中:HBI 为底栖动物 Hilsenboff 生物指数的值; n_i 为第 i 个底栖动物分类单元的个体数(个); N 为监测样点所有底栖动物的个体总数(个); t_i 为第 i 动物分类单元的耐污值^[28,29].

表 3 河流生物状况指标的赋分标准

指标	赋分标准					
	0 ~ 4.25	4.26 ~ 5.07	5.08 ~ 6.50	6.51 ~ 7.25	7.26 ~ 10.00	
Hilsenboff 生物指数	100	80	60	40	20	
鱼类保有指数/%	100	75	50	25	0	
	100	60	30	10	0	
浮游植物密度/(104 个·L ⁻¹)	≤40	200	500	1 000	≥5 000	
	100	60	40	30	0	
外来水生动植物状况	无害	-	1~2 种	≥3 种	-	已造成生态灾难
	有害	-	-	-	1 种	-
	-	100	80	60	40	0

2) 鱼类保有指数(FOEI)是用来对现有的鱼类总数和历史鱼类总数(不包括外来物种的种类)的差异进行分析^[17],按照如下的公式计算:

$$FOEI = \frac{FO}{FE} \times 100\%, \quad (2)$$

式中,FO 为评价河流目前的鱼类种类数,FE 是指 20 世纪 80 年代以前评价河流的鱼类种类数.若无法获取靠近 20 世纪 80 年代的数据,则采用历史早期数据.对于无法获取历史鱼类种类数据的评价区域,可采用专家咨询确定.

3) 浮游植物密度指标评价的方法主要有参考点倍数法和直接评判赋值法。本研究无参考点数据, 根据实际情况选用直接评判赋值法^[10]。此外, 针对杨柳塘电站和张窝水电站2个监测点的主要藻类细胞所属门进行单样本T检验, 对两地的都存在的门进行统计学分析, 检验两者之间差异是否显著。

4) 外来水生动植物状况通过收集或调查历史及现状水生动植物来评价。可通过查阅杨柳滩电站水库段和张窝电站水库段的相关文献资料, 或者通过走访当地有关人员调查。

评价结果采用百分制, 根据“赋分标准”分别计算出得分, 并将评价河流段和水库段的2个指标各自给予0.5的权重, 即可得到河流段与水库段的生物状况的得分, 最后根据河流段和水库段占总

评价流域的长度分别给予0.797和0.203的权重即为横江流域的生物状况的最终得分^[17]。河流健康状况根据河流健康最终得分划分为5个等级: 第I等级为非常健康(90 ≤ 得分 ≤ 100); 第II等级为健康(75 ≤ 得分 < 90); 第III等级为亚健康(60 ≤ 得分 < 75); 第IV等级为不健康(40 ≤ 得分 < 60); 第V等级为劣态(得分 < 40)。

2 结果与分析

2.1 生物状况调查结果

2.1.1 底栖动物调查结果

通过调查, 共采集鉴定出33种底栖动物, 它们主要来自涡虫纲、线虫纲、蜉蝣纲、毛翅目、鳞翅目、广翅目、双翅目、端足目、十足目、中腹足目、基眼目、异柱目这12个纲(目), 如表4所示。

表4 底栖动物统计结果

序号	种类	纲(目)	序号	种类	纲(目)
1	涡虫 <i>Rbellaria</i> spp.	涡虫纲	18	狭溪泥甲 <i>Stenelmi</i> ssp.	双翅目
2	线虫一种 <i>Nematoda</i> spp.	线虫纲	19	朝大蚊 <i>Antocha</i> sp.	双翅目
3	扁蜉 <i>Heptagenia</i> sp.	蜉蝣目	20	舞虻科一种 <i>Rhamphomyia</i> sp.	双翅目
4	似动蜉 <i>Cinygmia</i> sp.	蜉蝣目	21	伪蚊科一种 <i>Tanyderidae</i> sp.	双翅目
5	高翔蜉 <i>Epeorus</i> sp.	蜉蝣目	22	流粗腹摇蚊 <i>Rheopelopia</i> sp.	双翅目
6	溪颜蜉 <i>Rhithrogena</i> sp.	蜉蝣目	23	直突摇蚊 <i>Orthocladia</i> ssp1	双翅目
7	四节蜉 <i>Baetis</i> sp.	蜉蝣目	24	直突摇蚊 <i>Orthocladia</i> ssp2	双翅目
8	花翅蜉 <i>Baetiella</i> sp.	蜉蝣目	25	拟踵突多足摇蚊 <i>Ploypediumparavice</i> sp.	双翅目
9	短丝蜉 <i>Siphonuru</i> spp.	蜉蝣目	26	长跗摇蚊 <i>Tanytarsu</i> spp.	双翅目
10	小蜉 <i>Ephemerella</i> sp.	蜉蝣目	27	钩虾属 <i>Gammaridae</i> spp.	端足目
11	舌石蛾 <i>Glossosoma</i> sp.	毛翅目	28	匙指虾一种 <i>Atyidae</i> spp.	十足目
12	小石蛾 <i>Hydroptiila</i> sp.	毛翅目	29	尖膀胱螺 <i>Physa acuta</i>	中腹足目
13	侧枝纹石蛾 <i>Ceratopsyche</i> sp.	毛翅目	30	卵萝卜螺 <i>Radix Ovata</i>	基眼目
14	纹石蛾 <i>Athelalopshyche</i> sp.	毛翅目	31	华蜷一种 <i>Hua</i> sp.	基眼目
15	纹石蛾 <i>Macrostemum</i> sp.	毛翅目	32	云南沼蜷 <i>Paludomus yunnanensis</i>	基眼目
16	短脉纹石蛾 <i>Cheumatopsyche</i> sp.	磷翅目	33	湖泽股蛤 <i>Limnoperna lacustri</i>	异柱目
17	星齿蛉 <i>Protoherme</i> spp.	广翅目			

注: 表中整体拉丁学名为科名, sp. (spp.) 表示为不确定的种的底栖生物, sp. 表示某个属中的一种; spp. 表示某个属中的多种。斜体拉丁学名为底栖动物的属名和种名。

2.1.2 鱼类调查结果

通过对云南省昭通市横江水域的鱼类进行调

查, 采集和鉴定出共计54种鱼类, 具体种类如表5所示。

表5 鱼类统计结果

序号	种类	序号	种类
1	宽鳍鱲 <i>Zacco plantypus</i> (Richardson)	28	红尾副鳅 <i>Paracobiti svarieegatus</i> (SauvageetDabry)
2	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> (Cuviere Valenciennes)	29	短体副鳅 * <i>Paracobitis potanini</i> (Gunther)
3	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i> (Basilewsky)	30	横纹南鳅 <i>Schistura fasciolata</i> (NicholsetPope)
4	红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i> (Basilewsky)	31	戴氏山鳅 * <i>Oreiasdabryidabryi</i> (Sauvage)
5	花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i> (Bleeker)	32	安氏山鳅 * <i>Triplophysa angeli</i> (Triplophysa)
6	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i> (Temmincket Schlegel)	33	前鳍高原鳅 * <i>Triplophysa anterodoralis</i> (S. Q. Zhu et W. X. Cao)
7	银鲃 <i>Spualidusa rgentatus</i> (Sauvagee Dabry)	34	中华沙鳅 <i>Botiassu perciliris</i> (Gunther)
8	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i> (Bleeker)	35	宽体沙鳅 * <i>Botia reevesae</i> (Chang)
9	圆口铜鱼 * <i>Coreius guichenoti</i> (Sauvagee Dabry)	36	长薄鳅 * <i>Leptobotia elongata</i> (Bleeker)
10	吻鲃 <i>Rhinogobio typus</i> (Bleeker)	37	四川爬岩鳅 * <i>Beaufortia szechuanensis</i> (Fang)
11	裸腹片唇鲃 * <i>Platysmacheilus nudiventris</i> (Lo, Yao et Chen)	38	犁头鳅 <i>Lepturichthys fimbriata</i> (Gunther)
12	钝吻棒花鱼 * <i>Abbottina obtusirostris</i> (H. W. Wu et Ki. Fu. Wang)	39	中华金沙鳅 * <i>Jinshaiaa sinensis</i> (Sauvage et Dabry)
13	蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i> (Bleeker)	40	西昌华吸鳅 * <i>Sinogastromyzon sichangensis</i> (Chang)
14	宜昌鳅鲈 <i>Gobiobotia filifer</i> (Garman)	41	峨嵋后平鳅 <i>Metahomalop teraomeiensi</i> (Chang)
15	异鳃鳅 * <i>Xenophysogobio boulengeri</i> (Tchang)	42	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i> (Richardson)
16	高体倒刺鲃 <i>Rhodeus ocellatus</i> (Kner)	43	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i> (Richardson)
17	中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i> (Bleeker)	44	光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i> (Sauvage et Dabry)
18	云南光唇鱼 <i>Acrossocheilus sis</i> (Regan)	45	长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i> (Gunther)
19	白甲鱼 <i>Onychostomas Sawagee</i> (Dabry)	46	粗唇鮠 <i>Leiocassis crassibris</i> (Gunther)
20	泉水鱼 <i>Semilabeo prochilus</i> (Sauvage et Dabry)	47	切尾拟鲿 <i>Pseudoba gruncatus</i> (Regan)
21	墨头鱼 <i>Garraim berba</i> (Garman)	48	大鳍鲃 <i>Mystus macropterus</i> (Bleeker)
22	云南盘鲃 <i>Discogobio yunnanensis</i> (Regan)	49	鲃 <i>Silurus asotus</i> (Linnaeus)
23	短须裂腹鱼 * <i>Schizothorax wangchiachii</i> (P. W. Fang)	50	白缘鲃 <i>Liobagrus marginatus</i> (Bleeker)
24	昆明裂腹鱼 * <i>Schizothorax grahami</i> (Regan)	51	中华纹胸鲃 <i>Glyptothorax sinensis</i> (Regan)
25	四川裂腹鱼 * <i>Schizothorax kozlovi nikolsky</i> (Racoma)	52	中华鲃 * <i>Pareuchiloglanis sinensis</i> (Hora et Silas)
26	鲤 <i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus)	53	小黄鲃 <i>Micropercops swinhonis</i> (Gunther)
27	鲫 <i>Carassius auratus</i> (Linnaeus)	54	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobio biurinus</i> (Rutter)

注：表中内容为鱼类的属名和种名（命名人），*是分布在金沙江水系的鱼类。

2.1.3 浮游植物密度及外来水生动植物调查结果

在横江水域的河道监测断面采集水样后，经鉴定横江杨柳滩电站水库段和张窝电站水库段的浮游藻类密度分别为 8.68×10^6 个/L 和 4.9×10^5 个/L。其中，杨柳滩电站水库段浮游植物包括，蓝藻门、硅藻门、

绿藻门、隐藻门、金藻门，其细胞密度占比分别为 91.1%、8.5%、0.2%、0.1%、0.1%，其他门为 0%；张窝电站水库段的硅藻门和绿藻门浮游植物的细胞数量占比分别为 87.7% 和 16.3%，其他门为 0%。分析对比了 2 个监测点中硅藻门和绿藻门细胞数目占

比的差异显著程度显示, 杨柳滩电站和张窝电站两地的细胞数量占比差异均无统计学意义. 2个监测点均未发现无害和有害的外来的水生动植物. 见表6.

表6 藻类的总密度、主要门的藻类细胞数目占比、浮游植物密度赋分

监测点	藻类总密度 (10^4 个/L)	各门的藻类细胞数目占比/%								外来水生动 植物/种	赋分
		蓝藻门	绿藻门	硅藻门	甲藻门	隐藻门	金藻门	裸藻门	其它		
05 杨柳滩	868	91.1	0.2	8.5	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0	32.64
06 张窝	49	0.0	16.3	83.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	97.75
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66.59

2.2 生物状况评价

2.2.1 河流段生物状况评价

在横江流域河流段采集点采集鉴定发现的底栖生物共有33种(表4), 根据公式计算得出 Hilsenhoff 生物指数 (HBI) 为 2.81. 参考生物指标评估赋值标准(表3)可知, 横江底栖动物 Hilsenhoff 生物指标评估赋分为 100, 处于较高水平, 可见横江流域河流段底栖动物的种类和数量未受到近年的环境变化的影响, 依然保持较为稳定的状态.

调查横江流域河流段采集点的鱼类种类, 得到现有鱼类种类为 54 种(表5), 调查得到横江流域历史参考点的鱼类种类为 111 种^[18]. 根据公式计算得到鱼类保有指数 (FOEI) 为 48.64%, 参考生物指标评估赋值标准(表3)可知, 横江鱼类保有指数评估赋分为 28.91. 种类数量与历史数据相比减少了一半多. 这种变化必然与横江水域两岸人口快速增长、城市化进程加快等人类活动的日益频繁有关. 因此, 还应细致分析各种人类活动对鱼类生存环境的影响, 从而对一些人类活动进行针对性的约束和监管, 以起到保护横江水域的生态环境, 防止鱼类资源减少的作用. 综合上述指标计算得出横江的河流段生物状况得分为 64.46 分, 该分值位于“60~75”区间, 属于第Ⅲ等级, 因此横江流域河流段的健康状态评级为“亚健康”.

2.2.2 水库段生物状况评价

经现场取样测得横江杨柳滩电站水库段(监测点05)的浮游植物密度为 8.68×10^6 个/L, 而横江张窝电站水库段(监测点06)的浮游植物密度仅为 4.9×10^5 个/L. 此外, 监测点05中浮游植物主要是以“蓝藻门”(91.1%)为主, 而监测点

06中则是以“硅藻门”(83.7%)为主. 参照赋分标准(表3)直接评判赋分, 2个监测点的赋分值分别为 32.64 和 97.75 分. 2个监测点水库面积分别占测试水库总面积的 47.86% 和 52.14%, 可加权计算得到水库段浮游植物密度指标赋分值为 66.59. 另外, 2个监测点均未发现外来水生动植物. 依据外来水生动植物指标赋分标准, 横江外来水生动植物指标赋分为 100.

不同监测点的浮游植物密度差异较大, 监测点05的浮游植物密度值约为监测点06的18倍. 此外, 2个监测点浮游植物种类也有所不同, 监测点05中浮游植物主要是以蓝藻门、硅藻门、绿藻门、隐藻门、金藻门为代表, 其中蓝藻门的占比最高, 达 91.1%. 监测点06中浮游植物则是以硅藻门和绿藻门为代表藻类, 其中硅藻门占比最高, 达 83.7%. 上述差异可能与周围环境有关, 因此有必要进一步对比分析不同监测点环境差异, 寻找导致某些区段浮游植物密度过高的原因. 基于调查和现有的资料, 目前2个监测点均无发现外来水生动植物的影响, 在河流治理和管理时可排除这一因素造成的影响. 综合上述指标计算得出横江水库段生物状况得分为 83.30 分, 该分值在“75~90”区间, 属于第Ⅱ等级, 因此横江水库段的健康状态评级为“健康”.

2.2.3 横江流域生物状况总体评价

根据河流段和水库段分值权重计算得到云南昭通横江流域的生物状况得分为 68.28, 详见表7, 该分值在“60~75”区间, 属于第Ⅲ等级, 因此其河流健康状态评级为“亚健康”.

表 7 云南昭通横江流域生物状况的赋分结果

监测区域	河流段		水库段	
评价指标	底栖动物 Hilsenboff 生物指标	鱼类保有指数	浮游植物密度	外来水生动植物
指标赋分	100	28.91	66.59	100
区域赋分	64.46		83.30	
区域权重	0.797		0.203	
流域赋分		68.28		

3 讨论与结论

评价横江流域河流段的“底栖动物 Hilsenboff 生物指标”“鱼类保有指数”和评价水库段的“浮游植物密度”与“外来水生动植物”指标的得分分别为 100、28.91、66.59、100，汇总计算得出横江流域生物状况得分为 68.28，处于亚健康水平。其中，底栖动物 Hilsenboff 生物指标和外来水生动植物的评分均为 100 分，说明该流域中底栖动物指标正常，且未发现有外来水生动植物入侵的情况。然而，鱼类保有指数和浮游植物密度的分值较低，可认为这 2 个因素为影响横江流域生物状况健康的关键。

鱼类保有指数偏低可能是由于近些年河流生态系统结构和功能的退化所导致的。河流生态系统结构和功能的退化会导致水生生物资源减少，尤其是鱼类的减少^[26]。鱼类是河湖生态系统健康评价中最早使用的指示生物^[30]，在日常的监控中应按时按量地对横江流域的鱼类种类和数量建卡立档，利于开展横江流域的保护和管理工作。而浮游植物密度过高可能与水环境质量有关，涉及沿岸的垃圾、污水排放和农业面源污染。总磷和透明度是影响浮游植物分布的主要因素^[31]，应将其作为横江流域治理的重要指标。此外，不同监测点浮游藻类的种类和多样性都有所不同，因此，分析当地水环境因素对浮游植物生存状态的影响对于浮游植物治理也具有指导意义。

针对上述现状，拟提出以下几点建议：第一，加强横江流域治理，保证水环境质量。针对横江流域沿岸产生的垃圾和污水进行规范化管理，尽快建立垃圾处理和污水处理厂，提高居民和工厂垃圾分类和减排意识，明确沿岸河道管理的责任，并定期进行巡查和考核。第二，控制农业面源污染，阻断污染源。推广可降解膜、无公害化肥与农药，

控制农药和化肥的施用量，避免土壤富营养化和重金属污染，阻断横江流域沿岸农业面污染的来源。第三，加强横江流域河岸带的建设，防止水土流失。第四，应实施修复、调控以及管理与保护相结合的措施。加强日常管控，持续把控横江流域的健康状况，实施持续而针对性的措施使其水体生物状况有条件得到持续性的改善。

[参考文献]

- [1] 孙徐阳, 李卫明, 粟一帆, 等. 香溪河流域水生态系统健康评价 [J]. 环境科学研究, 2021, 34 (3): 599-606.
- [2] ANGRADI T R, BOLGRIN D W, JICHA T M, et al. A bioassessment approach for mid-continent great rivers: the Upper Mississippi, Missouri and Ohio [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 152: 425-442.
- [3] FOY R H. The contribution of agricultural phosphorus to eutrophication [J]. Proceedings of Fertiliser Society, 1995, 365: 1-32.
- [4] 邹大胜, 姚立强, 刘雁翼, 等. 河长制下赣江流域管护对策研究 [J]. 人民长江, 2021, 52 (S2): 37-40.
- [5] 吴志广. 河湖长制助推长江生态环境大保护的策略研究 [J]. 长江技术经济, 2018 (3): 22-28.
- [6] 郑志宏. 河流健康评价与生态环境需水理论及应用研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014: 7-9.
- [7] 徐香勤, 蔡文倩, 雷坤, 等. 天津市河流生态完整性评价 [J]. 环境科学研究, 2020, 33 (10): 2308-2317.
- [8] 刘麟菲, 徐宗学, 殷旭旺, 等. 基于鱼类和底栖动物生物完整性指数的济南市水体健康评价 [J]. 环境科学研究, 2019, 32 (8): 1384-1394.
- [9] 张朝. 重庆市河流健康指标体系的构建与评价研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [10] PANAGIOTIS D D, CHATZINIKOLAOU E, ARVANITIDIS C. Ecological status assessment based on benthic

- macrofauna of three Mediterranean ports: Comparisons across seasons, activities and regions [EB/OL]. (2020-02-25) [2022-03-15]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20301156>.
- [11] WANG L, LUO X X, YANG J Q, et al. Assessing benthic habitat quality using biotic indices in the Laizhou Bay, China [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2020, 39 (2): 49-58.
- [12] 卞少伟, 姜伟, 梅鹏蔚, 等. 基于底栖动物指数法的湖泊生态系统健康评价研究进展 [J]. *环境保护与循环经济*, 2016, 36 (10): 49-52.
- [13] 袁立来, 王晓梅, 杨文波, 等. 基于鱼类生物完整性指数的拒马河北京段河流健康评价 [J]. *生态毒理学报*, 2021, 16 (4): 160-169.
- [14] 苏婉. 基于鱼类生物完整性指数的澜沧江中上游河流健康评价 [D]. 昆明: 云南大学, 2021.
- [15] 舒远华. 昭通市河长制监测体系现状调查及分析 [C] // 云南省水利学会. 云南省水利学会 2018 年度学术交流会议论文集. 昆明: 云南省水利学会, 2018: 8.
- [16] 王渺林. 横江流域水电开发的河流健康初步评估 [C] // 北京沃特咨询有限公司. 2019 (第七届) 中国水生态大会论文集. [出版地不详]: [出版者不详], 2019: 168-172.
- [17] 昭通市全面推进河长制领导小组办公室. 昭通市横江(昭通段)河流健康评价报告 [R]. 昭通: 昭通市人民政府, 2021.
- [18] 云南省河长制办公室. 云南省河湖库渠健康评价指南(试行) [R]. 昆明: 云南省水利厅, 2020.
- [19] 谭婕. 横江水电开发对水生生态环境影响分析 [D]. 成都: 西南交通大学, 2012: 29-30.
- [20] 成伟. 文献资料法在高中政治课课堂教学中的运用 [J]. *科教导刊*, 2010 (30): 198-199.
- [21] 董莹雪, 张广萍, 杨平, 等. 河湖健康评价体系中生物完整性指标之浅见 [J]. *江淮水利科技*, 2021 (4): 3-4.
- [22] PABLO F, ARISMENDI I, ROBERT M, et al. A benthic macroinvertebrate multimetric index for Chilean Mediterranean streams [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 91: 13-23.
- [23] HE Q, QIU Y X, LIU H H, et al. New insights into the impacts of suspended particulate matter on phytoplankton density in a tributary of the Three Gorges Reservoir, China [EB/OL]. (2017-10-18) [2022-03-15]. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-13235-0>.
- [24] YANG W, DENG D G, MENG X L, et al. Temporal and spatial variations of phytoplankton community structure in lake erhai, a chinese plateau lake, with reference to environmental factors [J]. *Russian Journal of Ecology*, 2019, 50 (4): 352-360.
- [25] 赵瑞, 高欣, 丁森, 等. 辽河流域大型底栖动物耐污值 [J]. *生态学报*, 2015, 35 (14): 4797-4809.
- [26] 中华人民共和国农业农村部. 淡水渔业资源调查规范 河流: SC/T 9429—2019 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2019: 3-4.
- [27] 环境保护部. 生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物: HJ 710.8—2014 [S/OL]. 北京: 环境保护部, 2015 [2022-05-20]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/stzl/201411/t20141106_291248.htm.
- [28] 王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值 [J]. *生态学报*, 2004 (12): 2768-2775.
- [29] 张苏炯, 俞叶飞, 陈红星, 等. 应用水生昆虫监测与评价花溪水体质量研究 [J]. *浙江林业科技*, 2018, 38 (4): 43-48.
- [30] 赵彦伟, 杨志峰. 河流健康: 概念、评价方法与方向 [J]. *地理科学*, 2005 (1): 119-124.
- [31] 殷旭旺, 徐宗学, 鄢娜, 等. 渭河流域河流着生藻类的群落结构与生物完整性研究 [J]. *环境科学学报*, 2013, 33 (2): 518-527.