

Study on Rehabilitation of Watershed Water Ecosystem by Water Conservancy Project

Fangying Chai¹, Yongfu Ju², Hongxian Yu^{3*}, Ting Yu¹

¹Heilongjiang Irrigation Drainage and Water Conservation Technology Center, Harbin Heilongjiang

²Heilongjiang Hydrological Bureau, Harbin Heilongjiang

³Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

Email: *china.yhx@163.com

Received: May 21st, 2019; accepted: June 5th, 2019; published: June 12th, 2019

Abstract

This paper studies the dialectical relationship between water conservancy projects and river basin water ecosystem, and discusses the importance of water conservancy projects to the structure and function of seasonal rivers and ice-sealed rivers in winter. Taking Muling River, a typical river in alpine region, as an example, the important role of water conservancy project in providing ecological runoff, maintaining biodiversity and restoring water environment quality is studied, and relevant technical schemes are put forward.

Keywords

Water Conservancy Project, Watershed, Water Ecosystem, Restoration

水利工程修复流域水生态系统研究

柴方营¹, 鞠永富², 于洪贤^{3*}, 于婷¹

¹黑龙江省灌溉排水与节约用水技术中心, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省水文局, 黑龙江 哈尔滨

³东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

Email: *china.yhx@163.com

收稿日期: 2019年5月21日; 录用日期: 2019年6月5日; 发布日期: 2019年6月12日

摘要

本文研究了水利工程与流域水生态系统的辩证关系, 探讨了水利工程对季节性河流和冬季冰封绝底河流

*通讯作者。

水生态系统结构和功能的重要性。以高寒地区典型河流——穆棱河为例，研究了水利工程在提供生态径流、保持生物多样性和修复水环境质量方面对水生态系统的重要作用，并提出了相关技术方案。

关键词

水利工程，流域，水生态系统，修复

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

习近平总书记强调，水是万物之母、生存之本、文明之源，要重视解决好水安全问题[1]。2016年1月5日在推动长江经济带发展座谈会上，习近平总书记指出“要把修复长江生态环境摆在压倒性位置”，“推动长江经济带发展必须从中华民族长远利益考虑，走生态优先、绿色发展之路，使绿水青山产生巨大生态效益、经济效益、社会效益，使母亲河永葆生机活力。”

在过去以GDP为主导的经济发展模式下，我国水资源过度开发利用，超过河流承载能力，也导致一系列环境问题。水质污染和水资源过度开发引起水生态环境日趋恶化，主要表现在：

- 1) 河流断流次数增多，湖泊面积日益缩小；
- 2) 水域污染增多、渔业资源严重衰退、水生生物多样性减少；
- 3) 鱼类、珍稀水生生物产卵场遭到破坏，特有珍稀濒危鱼类洄游通道阻断；
- 4) 水域面临生态荒漠化威胁，生态系统结构与功能都受到不同程度的影响和破坏。

根据中华人民共和国环境保护部发布的《2013~2016 中国环境状况公报》 [2]和中华人民共和国生态环境部发布的《2017 中国生态环境状况公报》 [3]，我国地表水 I~III 类水质由 2013 年的 71.7% 下降到 2017 年的 67%，IV~V 类水质由 2013 年的 19.3% 上升到 2017 年的 23.8%，劣 V 类水质由 2013 年的 9.0% 下降到 2017 年的 8.3% (见图 1)。由图 1 可见，五年来 I~III 类地表水水质自 2014 年以来呈上升趋势，但比 2013 年仍然减少了 4.7 个百分点；劣 V 类水质呈下降趋势，但是仅仅下降了 0.7 个百分点。由此可见，我国治理水污染、修复水生态系统的任务仍然十分艰巨，刻不容缓。

面对日益严峻的环境问题，环境保护成为我们国家的基本国策，生态文明建设也上升为国家战略。党中央、国务院和黑龙江省委省政府高度重视生态文明建设，并明确具体提出了恢复生物多样性和修复渔业资源的意见。习近平总书记强调，“绿水青山就是金山银山”，“黑龙江的冰天雪地也是金山银山”，“要坚持节约资源和保护环境的基本国策”，“像保护眼睛一样保护生态环境，像对待生命一样对待生态环境”。十八大明确提出大力推进生态文明建设，把坚持节约资源和保护环境作为基本国策；要实施重大生态修复工程；要加强水源地保护和生物多样性保护。《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》指出，我国生态文明建设水平仍滞后于经济社会发展，资源约束趋紧，环境污染严重，生态系统退化，发展与人口资源环境之间的矛盾日益突出，已成为经济社会可持续发展的重大瓶颈制约。要保护和修复自然生态系统；在生态建设与修复中，以自然恢复为主，与人工修复相结合；到 2020 年生物多样性丧失速度得到基本控制。《国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知》要求生态文明建设上升为国家战略。重点强调湖库富营养化问题依然突出，部分流域水体污染依然较重；加大水生态保护力度，进一步增加野生鱼类种群数量；加快恢复水生态系统，七大重点流域制定实施水生生物多样

性保护方案。小兴凯湖水环境质量由 IV 类升为 III 类；阿什河水环境质量由劣 V 类升为 V 类。《中共黑龙江省委 黑龙江省政府关于加快推进生态文明建设的实施意见》要求把对现有生态资源保护摆到重要位置；全面保护和修复自然生态系统；推进水生生物保护区和水生生物保护及监测体系建设；到 2025 年，兴凯湖水水质大幅改善，穆棱河水水质稳定达到水功能区要求。《黑龙江省政府关于印发黑龙江省生态环境保护“十三五”规划的通知》要求加大水生态保护力度；加强保护生物多样性；野生鱼类种群数量有所增加；加大水生野生动物类自然保护区和水产种质资源的就地保护和迁地保护力度。

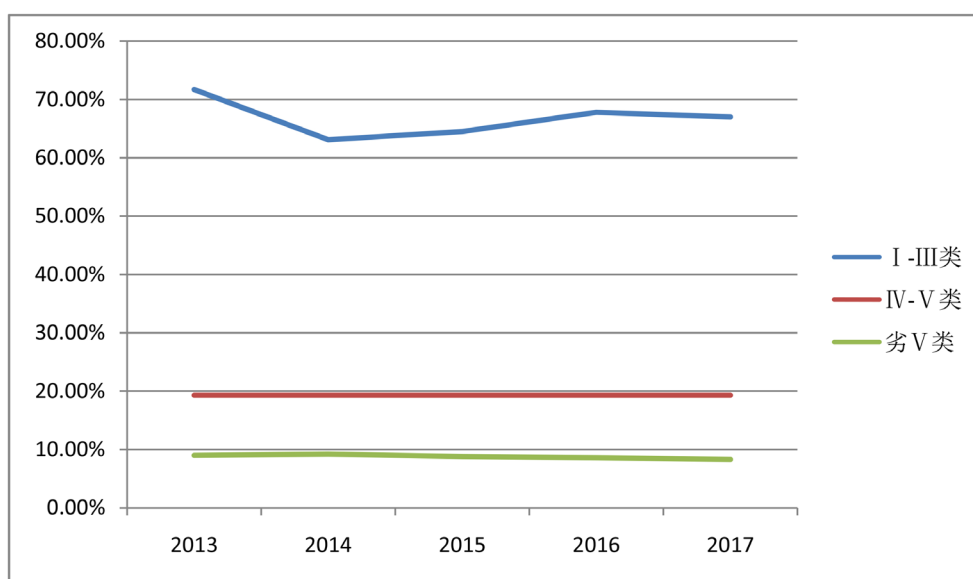


Figure 1. Change of Class I to Class V of Surface Water in China from 2013 to 2017

图 1. 2013~2017 年我国 I 类~劣 V 类地表水变化情况

2. 高寒地区河流生态环境状况

黑龙江省地处高寒地区，江河湖泊冰封期长达半年，冰层厚度 1.0~1.5 米，中小河流冬季都面临冰封绝底、干涸断流的情况，水质污染对高寒地区的水生态系统影响尤其巨大，水生生物多样性往往遭受灭顶之灾。研究高寒地区水利工程对水生态系统的修复作用更具有普遍意义。

穆棱河发源于长白山支脉老爷岭山脉东坡穆棱市窝集岭北麓，是黑龙江省十大江河之一。穆棱河全长 834 km，流域面积 17,490 km²，年径流量 41.2 亿 m³。鉴于《中共黑龙江省委黑龙江省政府关于加快推进生态文明建设的实施意见》要求穆棱河水水质稳定达到水功能区要求，作者根据多年来研究高寒地区水生态系统和水生生物多样性的成果积累，在对其他流域和水域研究的基础上，选择穆棱河流域进行水利工程建设与水生态系统修复研究。

2.1. 穆棱河是典型的高寒地区河流

穆棱河春秋季节干旱少雨，水位低落；夏季多雨，水位上涨；冬季结冰，径流大幅度减少或者断流。

2.2. 穆棱河污染十分严重

根据穆棱河流域的水域功能和水体标准，该水域应该属于 II 类水质，即主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等。但是，多年来的研究表明，穆棱河污染已经触目惊心。李平(2011)对穆棱河鸡西段水质评价表明，穆棱河 90%的河段水

质达不到功能区水质标准,一些河段的水体为 V 类和劣 V 类水质[4];吴属连(2014)研究表明,穆棱河水质总体上仍属于 IV 类水体[5]。作者研究穆棱河流域连续五年的水质污染情况,证明穆棱河上游的水质总体要好于中下游,为 II~III 类水质,下游基本为 IV~V 类水质。有机污染物是主要污染物,应加强水体有机污染物的防治[6]。

2.3. 穆棱河水土流失状况堪忧

穆棱河流域对土地、植物资源实行掠夺性经营,林木、植被破坏严重,形成大量坡耕地。河道内泥沙淤积严重,抗御自然灾害能力下降,造成大量泥沙下泄,致使小兴凯湖底泥沙量剧增,可利用水资源率下降。

2.4. 过度开发利用水资源

穆棱河上游的三岔以下至兴凯湖和乌苏里江口,仅仅干流就有拦河坝 27 道,流域内有大中小型水库 23 座。大、小兴凯湖和乌苏里江的鱼类已经无法上溯穆棱河及其支流各个河段。星罗棋布的拦河坝不仅截断鱼类产卵、洄游、索饵的通道,而且阻止了乌苏里江和兴凯湖生物多样性向穆棱河流域扩散,导致穆棱河流域生物多样无法自然修复。

2.5. 冬季河道干涸绝底,水生态系统崩溃

根据穆棱河穆棱站冰情资料统计,穆棱河封冻期一般在 11 月中旬,解冻期 4 月上旬,冰封期长达五个月,最大冰厚 1.42 m,多年平均最大冰厚 1.08 m。

根据穆棱河干流中上游水文站资料,1956 年~2010 年共 55 年连续系列进行频率计算,穆棱河干流冬季径流深度为 126.20 mm~140.96 mm,而穆棱河干流冬季冰层均为 1.0 m 以上。所以,除极少数深水汀之外,冬季穆棱河干流基本上已经没有水生生物可以存活场所。为数不多的深水汀,因水质污染、断流和水量有限,也只适合一些为数不多的小型耐低氧的鱼类存活。

2.6. 珍稀濒危鱼类保护空白

作者研究发现,穆棱河上游仍然有雷氏七鳃鳗和黑龙江茴鱼分布,但是历史上曾经分布的细鳞鲑已经多年不见。

穆棱河流域已经建立了四个保护区,珍宝岛湿地国家级自然保护区、月牙湖自然保护区、虎口湿地自然保护区、兴凯湖国家级自然保护区,其中两个省级保护区、两个国家级保护区,对流域内的珍稀动植物资源进行重点保护。但是,这四个保护区没有一个是针对穆棱河流域珍稀濒危鱼类设立保护区。

2.7. 国家和省里明确要求修复穆棱河流域生物多样性

《国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知》、《中共黑龙江省委 黑龙江省人民政府关于加快推进生态文明建设的实施意见》都具体明确地对穆棱河流域的水环境改善和生物多样性恢复提出要求。

鉴于穆棱河流域水生态环境恶化、物种多样性减少、渔业资源衰退严重,在高寒地区非常具有代表性,同时国务院和省委省政府明确要求尽快修复其水生态系统,在多年研究积累的基础上,作者确定将穆棱河作为修复流域渔业资源和生物多样性的重点研究区域。

3. 国内外水生态系统修复发展现状

在修复水生态系统方面,目前国内外恢复和保护天然水域渔业资源、维护生物多样性、保持生态平

衡的技术手段仅仅局限于增殖放流活动。

3.1. 国外水生态系统修复

英国在 19 世纪和 20 世纪初建造了 14,000 多座水坝, 目前认为修复河流生态系统最好的办法就是拆除水坝(American Rivers, 2002) [7]; Wohl 等学者主张利用恢复生态学原理修复河流水生态系统[8]; Whisenant 等学者认为水生态系统修复的重点是恢复生态系统健康以及人与自然和谐[9]; Stephanie 等研究了北美阻断河流的水坝和公路对水生生物的影响, 结果发现仅有 36% 的人工构造物修建了鱼类通道, 认为在水坝和公路维修中必须实现河流的连通性, 保证鱼类洄游自如[10]。

国外修复水生态系统实践主要是以增殖放流为主。世界上最早进行放流工作的国家是法国, 1842 年法国将人工授精孵化的鳟鱼幼鱼放流于河川之中。此后, 日本、美国、前苏联、挪威、西班牙、法国、英国、德国等先后开展了增殖放流工作, 而且都把增殖放流作为今后资源养护和生态修复的发展方向。1997 年在挪威、2002 年在日本、2006 年在美国、2010 年在上海相继召开增殖放流工作国际研讨会。联合国粮农组织(FAO)资料显示, 目前世界上有 94 个国家报道开展增殖放流工作, 其中有 64 个国家开展海洋增殖活动[11]。

3.2. 国内水生态系统修复

国内学者主要是研究了水利工程对水生态系统的负面影响和应消除其负面影响的必要性。肖建红等(2005)以 2002 年为评价基准年份, 对全国水坝对河流生态系统服务功能影响进行了评估。结果表明, 防洪和水力发电是水坝的主要功能, 两者分别占其正面影响的 53.94% 和 26.77%; 供水、减少有害气体排放和内陆航运等, 也是水坝的重要功能。水库泥沙淤积的负面影响最大, 年损失值为 -508.63×10^8 元; 其次是水库淹没, 从生态系统的角度进行核算, 年损失值为 -56.65×10^8 元; 水坝对河流生态系统的占据也是其重要的负面影响, 年损失值为 -10.43×10^8 元[12]。马小凡等(2005)提出了水坝工程建设与生态环境资源保护的利弊关系概念并建立了指标体系, 通过进行利弊关系分析来论证水坝工程建设的可行性, 并以某水坝实证分析了利弊关系, 得出弊大于利的结论[13]。肖建红等(2006)分析了河流生态系统的 15 项服务功能, 其中包括供水、水产品生产、内陆航运、水力发电、休闲娱乐和文化美学等 6 项河流生态系统产品与调蓄洪水、河流输送、蓄积水分、土壤持留、净化环境、固定 CO_2 、养分循环、提供生境和维持生物多样性等 9 项河流生态系统服务; 同时又分析了修建水坝对这此服务功能的影响。研究表明, 发挥河流生态系统服务正常功能是水坝建设决策中应考虑的必要因素[14]。

国内水生态系统修复主要集中于水生生物增殖放流工作。我国从 20 世纪六、七十年代开始, 首先在黄、渤海开展了中国对虾增殖放流, 随后在沿海、内陆水域都开展了一些颇具规模的渔业资源增殖放流活动[15]。黑龙江省主要进行了鲟鱼、鳊鱼和大马哈鱼的增殖放流。截至 2015 年底, 全国累计投入资金近 50 亿元, 放流各类水生生物苗种 1600 多亿单位, 其中, 2015 年全国增殖放流水生生物苗种 353.7 亿单位, 放流种类近 200 种。但是, 在多年大规模进行增殖放流活动后, 水生生物资源衰退和水域生态恶化的趋势并未得到根本扭转, 部分水域生态荒漠化问题仍然严重, 濒危物种数量仍在增加, 水生生物资源养护形势依然严峻。鉴于此, 我国“十三五”确定放流物种增加到 230 种, 其中淡水广布种 21 种, 淡水区域性物种 93 种, 海水物种 52 种, 珍稀濒危物种 64 种[16]。

4. 国内外水生态系统修复现状评价

修复水生态系统的目的根本上是恢复水域渔业资源和保持物种多样性, 从国内外水生态系统修复实践来看, 孤立地进行水生生物资源增殖放流是不科学的, 放流效果远远没有达到保持物种多样性、修复渔业资源和水生态系统的目标。

4.1. 水生态修复缺乏流域系统性

目前国内外的增殖放流工作仅仅局限于资金保障、物种选择、规划布局、放流技术、监督管理和宣传引导几个方面。关注的重点只是放流工作本身，没有考虑增殖放流的水域和流域整体的水生态系统状况，比如水土流失造成的水质恶化和产卵场、索饵场丧失，工农业生产和生活污水排放造成鱼类无法生存，高寒地区冬季河道干涸断流造成大批鱼类缺氧死亡等等不利因素。上述因素导致增殖放流多年也无法修复渔业资源和恢复水域的物种多样性。

4.2. 水生态修复安全性评估不够

修复水生态系统必须考虑生态安全。增殖放流不仅要考虑苗种培育、检验检疫、生态环境监测、标志放流及增殖效果评估等。同时要考虑水生生物多样性的保护、种群遗传资源保护以及对生态系统结构和功能影响，增殖放流前应对放流水域的生态系统开展调查，以了解放流水域的生态结构、食物链构成，特别是竞食或掠食物种的习性，以确定放流的物种和规格，保证生态系统不受破坏、减小放流的生态风险。

4.3. 水生态修复本底调查缺乏

修复水生态系统必须考虑生态容量。增殖放流必须考虑放流区域的生态容量和合理放流数量，增殖放流前应对放流水域的生态系统开展调查，以摸清包括初级生产力及其动态变化、食物链与营养动力状况，从而确定放流物种的数量、时间和地点。同时要加强对放流后的跟踪监测和效果评估，以调整放流数量、时间和地点，保证最佳放流增殖资源的效果。

4.4. 水生态修复体系不健全

修复水生态系统应当加强体系化建设。我国应建立完善的管理、研究、监测评估和具体实施的增殖放流体系，对放流的品种、规模、数量进行充分的评估；对增殖放流的鱼类对新水域环境适应性进行科学评估；对增殖放流的实际效果进行科学评估等等。同时，也应建立跨境水生生物资源增殖放流的国际合作体系，以确保增殖放流工作的顺利开展。

水生态修复要着重从整体上建立良性的流域水生态系统，修复流域渔业资源和水环境质量，恢复和保护流域水生生物物种多样性。

5. 水利工程修复流域水生态系统模式

一般而言，水利工程尤其是拦河坝容易对水生态系统产生负面影响。但是对冬季冰冻绝底、干涸断流、生态系统崩溃的高寒地区流域来说，水利工程可以与渔业生态、水环境质量修复措施相结合，将水利工程作为水生态系统恢复的重要依托，增加和修复水生生物越冬、产卵、索饵和洄游场所及通道，同时改善和净化水质。

5.1. 水利工程建设对流域水生态系统的重要影响

5.1.1. 对河流的影响

水利工程阻断了河流的天然连续性，改变了河流的水文情势，直接破坏了鱼类栖息地、产卵场所、索饵场所、越冬场和洄游通道，导致渔业资源衰退，鱼类区系改变，生物多样性减少。

5.1.2. 对水库的影响

流域内水库直接水体富营养化污染，水质恶化。水库蓄水后，水流变缓，形成敞水区，淹没大量植被。水库淹没区内大量的耕地、草地、林地、村屯以及腐烂后的植物会释放出大量氮、磷等元素，引起

藻类尤其是蓝藻大量繁殖。藻类死亡后释放藻毒素，导致水体富营养化污染。

5.2. 穆棱河水生态系统修复模式

穆棱河干流共建设了 27 座拦河坝，流域内共建设了大中小型水库 23 座。在穆棱河流域，水利工程建设对生物多样性和水环境质量的影响非常具有代表性，同时穆棱河流域的 50 处水利工程对保障国家粮食安全和解决流域内工农业生产、生活用水也至关重要，解决穆棱河流域水利工程建设与渔业资源、生物多样性和水生态修复的矛盾具有十分重要的意义。

5.2.1. 生态径流修复水生态系统

高寒地区江河径流量季节性非常强，径流变幅频度高，稳定的径流对维护水生态环境和生物多样性具有决定性的作用。穆棱河流域虽然多年平均水量较丰富，但是年内分配极不均匀，特别是冬春季节，河川径流量很小，加上冰层厚度超过 1 米，经常断流，对生物多样性是毁灭性的。为维护河流的基本生态需求，保持物种多样性，水利水电工程必须下泄一定的生态径流量，将生态径流量纳入水利工程水资源配置中统筹考虑。

根据穆棱河流域上中下游一年四季的径流情况和水资源利用状况，可以确定上游的奋斗水库和下游的穆兴坝保证流域生态径流量。主要原因为：第一，奋斗水库坝址地处穆棱河上游，其生态径流可以满足整个流域需求；第二，奋斗水库是穆棱河流域干流上唯一的大型水库；第三，奋斗水库是多年调节型水库，蓄水量可以满足生态径流需要。

奋斗水库坝址处多年平均流量为 $8.35 \text{ m}^3/\text{s}$ ，水库坝址断面 5~8 月份各月流量均采用多年平均天然流量的 30% ($2.5 \text{ m}^3/\text{s}$) 作为最小下泄生态径流量目标；9 月~翌年 4 月份各月流量均采用多年平均天然流量的 10% ($0.84 \text{ m}^3/\text{s}$) 作为最小下泄生态径流量目标。

小兴凯湖穆兴坝多年平均流量为 $12.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ，穆兴坝断面 5~8 月份各月流量均采用多年平均天然流量的 30% ($3.63 \text{ m}^3/\text{s}$) 作为最小下泄生态径流量的目标，9 月~翌年 4 月份各月流量均采用多年平均天然流量的 10% ($1.21 \text{ m}^3/\text{s}$) 作为最小下泄生态径流量的目标。

奋斗水库为多年调节型水库，其库容将改变坝下河流流量的自然分配状态，使坝下河流流量变得较为稳定，坝下河流丰水期、平水期、枯水期之间的流量差变小。经水库调节后，丰水期坝下河流的流量将变小，枯水期坝下河流量将明显增大，在一定程度上改善坝下现有水文情势，流域水生态系统趋于稳定，水生生物多样性得到修复。

5.2.2. 生物多样性修复水生态系统

以穆棱河流域 27 道拦河坝为基础，建立干流鱼类栖息地和越冬场，确保生物多样性不断增加。穆棱河流域拦河坝自上游源头开始一直分布到下游乌苏里江口，在全面研究穆棱河水环境质量、生物多样性和渔业生态环境状况的基础上，根据穆棱河水生生物生态习性，完全可以利用拦河坝修复穆棱河生物多样性。修复穆棱河水生态系统，恢复流域生物多样性的具体技术方案为：根据穆棱河中下游水生生物和鱼类对栖息地、产卵场、索饵场和越冬场所的要求，对拦河坝坝体进行防渗处理、对坝前水域进行清淤、增加坝体过鱼通道，保证拦河坝蓄水水深超过 2.5 m，这样就可以保证明水期鱼类自由洄游通行，确保索饵和产卵洄游，同时保证冬季在拦河坝前形成深水汀，为鱼类提供栖息地和越冬避难场所，彻底恢复了穆棱河水生态系统的生物多样性。穆棱河 27 座拦河坝在冬季和干旱季节使整个流域的生物多样性保持完好，保护了流域水生态系统平衡性。

5.2.3 水环境质量修复水生态系统

以穆棱河流域内水库为基础，构建生物多样性基因库和水生生物净化流域水质基地。

第一,流域生物多样性恢复技术方案。穆棱河流域的 23 座水库为恢复生物多样性提供了良好的机遇。在三方面具有积极的影响:一是浮游生物和底栖生物大量繁殖,生物多样性增加,同时为鱼类生长提供了大量饵料;二是淹没的树木、杂草、石砾为鱼类创造了良好的产卵繁殖场所;三是水的深度有保证,为鱼类提供了更好的栖息、产卵和越冬场所。

水库库区恢复鱼类多样性的技术措施为:利用水库淹没区提供的优良栖息、繁殖和索饵场所,以穆棱河下游乌苏里江和兴凯湖的鱼类区系组成研究为基础,以水库为载体,大量增殖和养殖适合的鱼类品种,首先恢复库区鱼类的物种多样性。水库库区鱼类多样性恢复后,通过发电、灌溉下泄的水流,各种鱼类很快会从穆棱河上游和支流分布到整个穆棱河流域。有流域拦河坝和生态基流提供的栖息地和越冬场所作为保证,穆棱河流域鱼类的物种多样性得到全面恢复。

第二,流域水环境质量生物技术修复方案。水库蓄水后,三方面因素导致水体富营养化污染:一是淹没区导致水体富营养化污染。淹没区内的耕地、林地、草地上的植物腐烂分解,以及淹没的村屯和房屋都将释放大量氮、磷等营养元素,导致水质富营养化变化趋势;二是消落区导致水体富营养化污染。水库为满足供水和防洪的需要,每年水位不断变化,消落区内植物反复生长和淹没腐烂,大量氮、磷等营养盐被释放到水体中,水体富营养化趋势在所难免;三是天然径流导致水体富营养化污染。穆棱河流域水库控制面积 23,262 km²,天然径流会把控制面积内的大量营养盐携带进入库区,流域径流导致富营养化。

水生生态系统物质和能量循环具有特殊的规律,水体中浮游植物、浮游动物、底栖动物、高等水生植物和高等水生动物构成了完整的营养层级关系,可以用以去除污染,净化水质。通过操纵水生生物群落结构,利用生物技术将富营养化污染源不断清除出水体,达到保护水源地,净化水质,修复水环境质量的目標。作者在哈尔滨后备水源地进行研究时,四年内共清除水源地有机污染物折合为氮 13,577 吨,磷 2067 吨,水库水质改善效果明显。2010 年水库水体氨氮、总磷和总氮含量相比 2009 年分别下降了 42.1%、42.3% 和 36.2% [17]。

6. 结论

水利工程与流域水生态系统的关系是辩证的,在某些流域可以保持和提高生态系统的完整性,增加生物多样性。水利工程可以有效解决季节性河流和冬季冰冻绝底河流的生态径流危机;为水生生物提供栖息、洄游和产卵场所,保护水生态系统生物多样性;通过生态系统生物链效应,消除水质污染,提高水环境质量。

参考文献

- [1] 陈敏尔. 运用辩证思维守住两条底线——深入学习习近平总书记在贵州调研时的重要讲话精神[J]. 当代贵州, 2015(37): 15-17.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 2013~2016 中国环境状况公报[R].
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 2017 中国生态环境状况公报[R].
- [4] 李平, 辛长福, 李季. 穆棱河流域鸡西段水污染现状分析及治理方案[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2011, 11(6): 152+154.
- [5] 吴属连, 李锟, 周连宁. 穆棱市穆棱河流域水质现状与污染防治对策研究[J]. 生物技术世界, 2014(7): 15-16+18.
- [6] 李佳民, 于婷, 鞠永富, 等. 水环境质量评价方法对比研究——以穆棱河为例[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(27): 185-188.
- [7] American Rivers (2002) The Ecology of Dam Removal: A Summary of Benefit and Impacts. American Rivers, Washington DC.
- [8] Wohl, E., Lane, S.N. & Wilcox, A.C. (2015). The Science and Practice of River Restoration. *Water Resources Re-*

search, **51**, 5974-5997. <https://doi.org/10.1002/2014WR016874>

- [9] Whisenant, S. (2011) The Society for Ecological Restoration. *Ecological Restoration*, **29**, 207-208. <https://doi.org/10.3368/er.29.3.207>
- [10] Januchowski-Hartley, S.R., McIntyre, P.B., Diebel, M., Doran, P.J., Infante, D.M., Joseph, C. and Allan, J.D. (2013) Restoring Aquatic Ecosystem Connectivity Requires Expanding Inventories of Both Dams and Road Crossings. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **11**, 211-217. <https://doi.org/10.1890/120168>
- [11] 李继龙, 王国维, 杨文波, 等. 国外渔业资源增殖放流状况及其对我国的启示[J]. 中国渔业经济, 2009, 27(3): 111-123.
- [12] 肖建红, 施国庆, 毛春梅, 等. 水坝对河流生态系统服务功能影响评价[J]. 生态学报, 2005, 27(2): 526-537.
- [13] 马小凡, 郭晓泽, 王菊, 等. 水坝工程建设与生态保护的利弊关系分析[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 621-625.
- [14] 肖建红, 施国庆, 毛春梅, 等. 河流生态系统服务功能及水坝对其影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(8): 969-973.
- [15] 隋然, 马欣, 张勇, 徐家恩. 目前我国渔业资源增殖放流中存在的问题及建议[J]. 中国水产, 2014(4): 29-31.
- [16] 中华人民共和国农业部. “十三五”水生生物增殖放流工作指导意见[R].
- [17] 赵予熙, 李晓钰, 孙旭, 于洪贤, 柴方营. 净水渔业生态修复水源地水质研究[J]. 水产研究, 2019, 6(1): 8-18.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org