

多重人类活动干扰下赣江流域水环境和 鱼类资源的研究现状分析

仝路路¹ 郭传波¹ 王瑞^{1, 3} 曾泽国⁴ 张鄂^{2, 3} 陈宇顺^{1, 31}

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

2. 中国科学院水生生物研究所水生生物多样性与保护国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 江西省赣州市水产研究所, 江西 赣州 341000)

【摘要】: 赣江是长江中下游的重要支流, 赣江流域的水生态安全直接关系到长江经济带建设的可持续与绿色发展。然而, 近些年来, 人类活动干扰对赣江流域水生态的影响还在持续增加。该文综述了截止 2017 年 12 月赣江流域的水环境、鱼类资源及人类活动干扰影响的相关文献。目前, 赣江流域水环境处于中度污染级别, 有机污染物增加, 无机污染物无显著变化。鱼类共有 124 种, 隶属 10 目 32 科。经统计近 10 年的鱼类资源, 赣江流域鱼类有 7 目 35 科 120 种, 其中上游鱼类 4 目 14 科 22 种, 中游鱼类 6 目 28 科 82 种, 下游鱼类 7 目 28 科 91 种。全流域 10 年中未发现的鱼类包括中华鲟、鲟鱼、刀鲚、弓斑东方鲀、斑条鲮、短须鲮、拟尖头红鲮、似鲮、条纹小鲮、泉水鱼等 33 种。该文分析了影响赣江流域水生态的三类主要人类活动干扰: 水电站建设, 工农业污染和航运、采砂等, 这些干扰增加了水体中营养盐和有机污染物的含量, 同时破坏了水生生物生境, 进而影响了鱼类的生存。随着赣江流域多个大型水电站的规划和建设, 建议今后应进一步加强水电开发对水环境和鱼类资源的影响研究, 同时开展生态修复, 加强生境保护, 严控涉水行为, 完善生态补偿机制, 以保证赣江流域的绿色发展。

【关键词】: 赣江流域 水环境 鱼类 人类活动干扰

赣江流域(E113° 30' ~116° 40', N24° 29' ~29° 11'), 地处长江中下游, 流经江西、湖南、福建和广东 4 省 60 县(市), 总流域面积达 82809km²。赣江发源于赣闽交界的黄竹岭, 主要一级支流 14 条, 以赣州和新干县为界, 分为上中下游。赣州以上为上游, 总长 255km, 支流众多, 主要有湘水、濂江、梅江、平江、桃江、上犹江等, 分别汇入章水和贡水。赣州至新干为中游, 长 303km, 赣州至万安段, 多峡谷急流, 河面渐宽, 水势渐缓, 两岸有孤江、遂川江、蜀水、禾水、洸水等较大支流汇入, 水量大增; 吉水到新干段, 呈一较长的峡谷带。新干县至吴城段为下游, 长 208km, 江面开阔, 水流平缓, 有袁水和锦江汇入。赣江是长江下游最重要的支流之一, 也是江西省最大的河流^[1]。

赣江对江西省的人民生活和社会经济发展影响巨大, 水资源的供给不仅对江西省水资源调配有重要作用, 也影响整个长江中下游的生态调节和长江经济带的建设。随着工农业发展、城镇化进程加快, 近年来流域内人口快速增加, 给水环境和鱼类等资源带来巨大的压力。本文将着重依据水环境和鱼类资源状况, 分析赣江上、中、下游主要人类干扰活动的影响, 旨在阐明以上各方面的历史与现状, 为后期开展相关的研究提供基础和参考。

作者简介: 仝路路(1989-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水生态系统健康. E-mail: 1024248675@qq.com

基金项目: 环保部赣江水系鱼类多样性调查与评估项目(Y691141202); 中国科学院百人计划项目(Y623021201); 中国科学院重点部署项目(ZDRW-ZS-2017-3-2)。

1 总体概况

赣江流域水工程建设历史悠久,到1982年底为止,共兴修各类水利工程22.8万座,包括蓄水工程15.9万座,中型水库100座,引水工程57477座^[2]。截止2007年底,江西省建成各类水利工程40万多座,其中水库9783座(大型25座,中型238座),引水工程9.58万多处,小型水利工程26.63万座,列入规划的3488座病险水库除险加固基本完成,全省小型农村水利工程管理体制改革累计达15.65万座(处),有效地提高了江西省抗御水旱等自然灾害的能力。到2018年12月,根据江西省水库水情统计,全省大型水库30座^[3]。到2020年全省年供水能力新增约40亿m³,农村饮水安全问题基本得到解决,基本完成现有大型灌区的续建配套和节水改造。由于赣江航道等级低,制约了水运经济的发展。2010年以来,江西省加快水运建设,航道等级提升,长江江西段及赣江中下游航运业快速发展,迅速形成沿岸工业带,对江西经济的跨越式发展起到了重要作用。

赣江与鄱阳湖、长江贯通,为鱼类栖息、洄游以及产卵繁殖的良好场所,鱼类资源非常丰富,是江西省主要水产基地之一。历史上赣江一直是鱼苗产区,据记载,赣江共有12处产卵场,万安以上有赣州、望前滩等4处,万安以下有百嘉下、泰和等8处,以沿溪渡、吉水、小港及峡江为代表,都是青鱼、草鱼、鲢、鳙、鳊和鲤等重要经济鱼类的产卵场,占产卵量的3/4^[4~6]。天然产卵场不仅为人工养殖提供了苗种,有利于鱼类增殖,更重要是为保持鱼类生物多样性发挥了巨大的作用。

然而,近几十年来,伴随着人类活动如大型水利工程筑建、泥沙开采、过度捕捞、水体污染等的影响^[7,8],流域水环境不断恶化;同时,赣江鱼类资源和群落组成发生较显著的变化,鱼类栖息地环境也发生改变。然而,目前尚未有针对赣江全流域统一的水环境、鱼类资源和生物多样性的调查和评估,仅有的历史资料也均为零散的记录。因此,有必要对赣江流域的水环境和鱼类资源进行统一的、整合性的评估,了解其鱼类组成和环境现状,进而分析影响鱼类多样性的潜在威胁因素,并甄别关键影响因子,为流域生物多样性保护和生态系统健康提供基础的数据支撑。

赣江流域概况及各段人类活动干扰情况如图1所示。

2 赣江流域水环境与鱼类资源状况

2.1 水环境

根据江西省水环境功能区划^[9],赣江流域共划分水环境功能区294个;其中,高功能水域有50个,占17.0%,功能区水质按地表水质标准划分有Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类。赣江流域水环境功能区划省界水体有3个,均为入境水体。赣江流域水环境功能区划市界水体有24个,水质目标Ⅱ类的水体1个,占4.17%,Ⅲ类水体23个,占95.83%^[10]。

赣州市以上为上游,多峡谷,属山区性河流。兴国县境平江水系多年平均含沙量达0.72kg/m³,是赣江流域内水土流失最严重的一条支流^[11]。2003年赣州市人民政府公布的对全市14条大中河流及18个县的监测结果表明,赣江水质基本良好,大部分河流水质在Ⅱ~Ⅲ类之间^[12]。文献中对赣江上游源头区水质的报道较少,多数报道的区域靠近赣州主城区。2014年郑绿茵等^[13]研究赣州城区的水质时发现赣州城区段水质总体状况良好,除自来水取水点外,其余各处铅含量均有不同程度超标,排污口处工业用水严重超标排放,水质污染严重。陈采华等^[14]指出2009~2015年赣江流域中赣州地区综合污染指数最高,主要是氨氮和总磷污染物排放浓度高,居民生活污水、采沙场和金属生产公司对污染水体贡献很大^[15,16]。

赣江中游水流平缓,但山丘间多急流险滩。金腊华等^[8]1995年研究万安水库对中游的影响时指出,万安建坝后库区出现水温分层的现象;库区污染物扩散能力减弱,排污口附近易形成岸边污染带;水质比蓄水前有所提高,达到地表Ⅱ类水质标准;赣州市工业污染是万安水库的主要污染源,主要是造纸、制药、化工、印染、金属冶炼等。李爱平^[17]2013年指出赣江中游吉安段从万安县良口到新干县三湖水水质状况优,综合水质类别达到Ⅱ类水质标准。陈采华^[14]通过研究吉安段的16个监测断面,指出多年来乌江综合污染指数居各支流之首,支流带来的污染物造成干流污染物浓度的上升,主要污染物是总磷。陈采华^[14]和李爱平^[17]均指出影

响吉安段水质污染的主要指标为高锰酸盐指数、氨氮和总磷,但该段水质尚符合作为吉安市主要饮用水源地的要求。

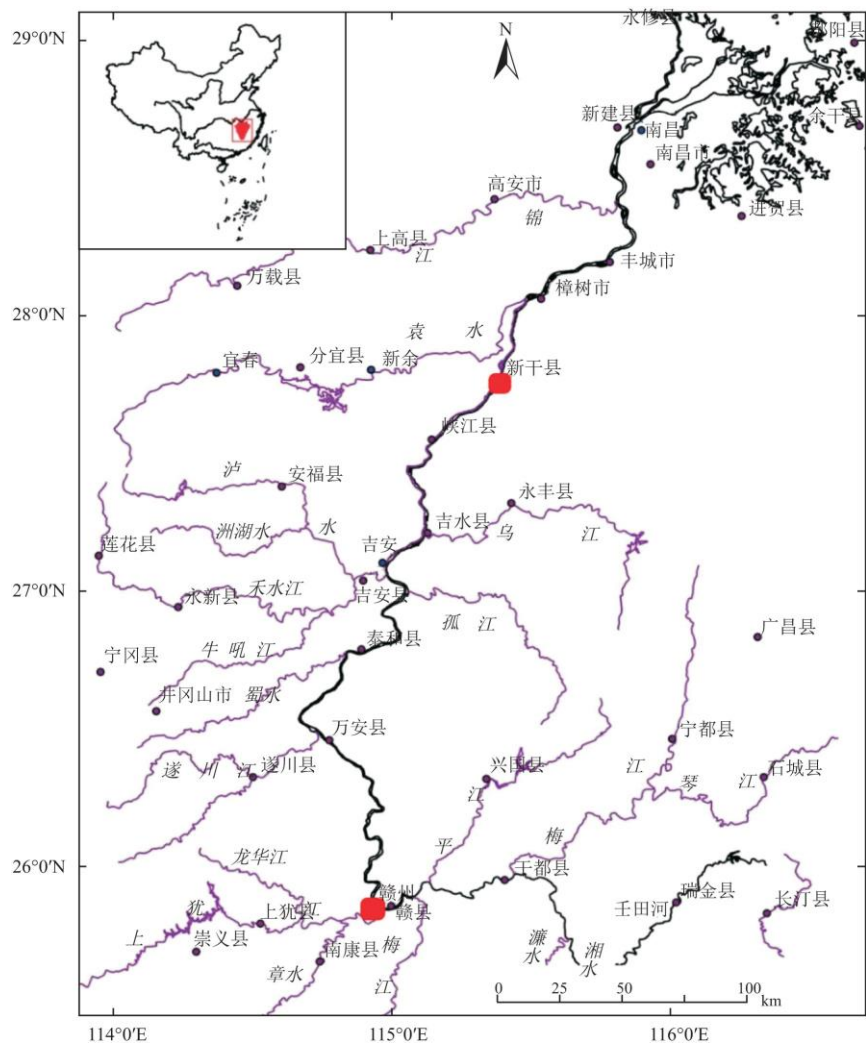


图 1 赣江流域概况图(赣州和新干县分别为上中游和中下游的分界点,已经标红)

赣江下游水面开阔,水量大增。20 世纪 80 年代,南昌市的工业废水和城市生活污水,主要是排入赣江,以造纸厂、青山湖、电厂等的废污水对赣江的污染最为严重,江面两边水的颜色截然不同,形成了一条明显的污染带,青山闸以下至叶楼段,几乎全江都是黑水,污染极为严重,鱼产量下降,自来水的品质受到影响,给人民身体健康造成了危害^[18]。朱朝晖^[19]综合樟树段 2004~2008 年 5 年数据指出,除总氮、粪大肠菌群部分超出Ⅲ类水质标准外,其余全部达到地表Ⅲ类水质标准。超标原因是大量的生活污水及农业污水直接排入水环境中,且樟树市养殖场较多,养殖类废水未处理达标排放。农业灌溉施用的肥料中约有 70%~80%进入水体。胡锋平等^[20]指出 2008 年排入南昌段的工业废水中 COD(Chemical Oxygen Demand, 化学需氧量)和氨氮占排放总量的 99.58%,COD 占总量的 90.84%,该段的污染源以工业、城镇生活和农田地表径流为主。除赣江南支外其余部分水质良好,有较富足的水环境容量。陈采华^[14]2016 年根据多年数据指出干流在乌江汇入后在樟树段污染物浓度上升,樟树段主要污染物是总磷。

20 世纪 80 年代,胡美琴等^[21]根据水质污染与浮游生物关系划分污染级别指出赣江水质属中污染型。吴速英等^[10]2009 年指出,中上游赣州吉安等地水资源开发利用程度较低,能支撑现在及将来经济社会的可持续发展,但下游南昌市水资源用量已大大超出了国际上公认的标准,不但不能支撑现在经济社会的可持续发展,更不能支撑将来的发展,必须努力提高水资源承载力。而李栋梁等^[22]2014 年指出赣江流域水质比水资源对水环境承载力的影响程度大,并对富营养化指标进行了研究,2006~2010 年总氮

TN(Total Nitrogen, 总氮)一直处于负荷承载状态,总磷 TP(Total Phosphorus, 总磷)逐年上升,2010 年就已超过环境的负荷值。朱朝晖^[19]指出 2001~2005 年期间,赣江饮用水源水质保持优良,介于 II~III 类水域水质之间,总体达到国家地表水 III 类标准,基本符合饮用水源地水质要求。赣江水质污染呈现有机物污染不断增加,无机物污染变化不显著的特征。2011 年陈宏文等^[23]指出赣江流域河流总体水质为中等级别水体,同时也存在部分极为清洁的水体,而重污染水体则极为少见。李燕指出赣江南昌段总体水质在地表水源标准限值内,水化学类型为 HCO₃-Ca 型水,南昌段南支和北支的污染较中心城区重^[24]。

结合以上研究,目前江西省水资源开发利用率未超过 20%,水资源的开发利用程度相对较低,赣江流域的水资源开发利用率约为 20%左右^[25],但是 2010 年南昌市的水资源开发利用率接近 50%,超过了国际上公认的 40%的合理限度^[26]。赣江流域水质承载力已经超出了赣江流域的负荷量,流域内水体受区域污染物浓度影响大。控制赣江流域污染物的排放,主要是氮磷营养盐的量。赣江流域氮磷营养盐含量偏高主要是因为流域内城市工农业污染物及生活污水的大量排入。赣江总体情况如表 1 所示。

表 1 赣江流域水污染情况现状

区域	现状	参考文献
上游	氨氮、总磷、铅等超标;赣州地区综合污染指数最高	江西省统计局(2006)、王毛兰(2007)、郑绿茵等(2014)、陈彩华(2016)
中游	乌江汇入引起干流总磷的浓度上升,吉安段高锰酸盐指数、氨氮和总磷超标	吴速英(2009)、李爱平(2013)、陈彩华(2016)
下游	樟树段基本达到地表 III 类,生活污水和农业污水排放多,主要污染物是总磷;南昌段工业废水中 COD 和氨氮为主要污染源	李贵宝(2001)、朱朝晖(2009)、胡锋平(2010)、李栋梁(2014)、陈彩华(2016)
全流域	总体达中等级别水体,有机污染物增加,无机污染物无显著变化。 赣江流域的污染物主要是氮磷营养盐	朱朝晖(2009)、吴速英(2009)、陈宏文(2011)、李栋梁(2014)、陈彩华(2016)

2.2 鱼类

从 20 世纪 50~60 年代开始,国内鱼类学专家曾先后对赣江流域的鱼类区系及鱼类资源做过调查报道^[5,6,27],目前有关于赣江流域鱼类资源的调查研究多集中于评估赣江不同河段或水系鱼类组成^[28~32]以及水利工程建设对鱼类资源的影响^[33~35]。1995 年郭治之和刘瑞兰记载江西鱼类共 205 种,其中鲤科占 54.6%^[5]。根据文献和其他保护区的调查纪录,鲤形目鲤科鱼类构成了江西省鱼类区系的主体。近年来水利工程的修建、过度捕捞,使赣江渔业资源面临严重的衰退问题,一直以来作为优势鱼种的四大家鱼种群数量下降明显。赣江流域上世纪曾有过达氏鲟、白鲟和胭脂鱼及洄游性鱼类鳊鱼(Anguilla japonica)、刀鲚(Coilia ectenes)的记载,但近年来并未发现其踪迹,鲟鱼和鲸鱼也已多年未发现^[26]。

据文献整理,赣江共记录有鱼类 118 种和 5 个亚种,隶属 11 目 22 科 74 属,超出江西省鱼类种类总数的一半^[36]。其中,鲤科鱼类占总数 58.5%,鲮科 9.3%,鲴科 5.1%,鳊科、银鱼科、鲈科、塘鳢科、鰕虎鱼科、斗鱼科和鳊科等各占 1.7%,其余 11 科共占 9.3%。赣江鲤科鱼类中,以鮡亚科和鲃亚科最多,各占鲤科鱼类种类的 23.2%,其次是雅罗鱼亚科和鳊亚科,各占 14.4%,鲃亚科占 8.7%,鳊亚科占 7.3%,鲤亚科、鳊亚科和鳊亚科各占 2.9%。其中,多数种类是我国江河平原区的特有鱼类。从鱼类的主要生活水域和洄游习性来分析,赣江流域鱼类可大致分为 4 个生态类型:(1)淡水洄游性鱼类,如中华鲟、白鲟、鲟、刀鲚、鳊鱼等;(2)江湖洄

游 (potamodromous) 性鱼类, 如青鱼、草鱼、鲢、鳙、鳊、鲮等; (3) 湖泊定居性鱼类, 如鲤、鲫、鲂、乌鳢、鳊、鲇、黄颡鱼等。 (4) 山溪定居鱼类, 如胡子鲇、月鳢、中华纹胸鮡、平舟原缨口鳅等。赣江流域优势鱼类为鲤科鱼类的青鱼、鲫、鲢、鲤、鳙、鳊、鳊鱼、赤眼鳟和黄尾鲴, 鲇形目的鲇和黄颡鱼等。郭琴等^[37] 2017 年调查赣江中下游干流及支流的鱼类资源现状, 经鉴定共记录鱼类 95 种, 隶属于 6 目 17 科 62 属。

赣江上游段鱼类资源的研究较少,已有的报道主要集中在自然保护区和湿地公园内。2008 年李晴等^[38]对上犹江内的齐云山自然保护区进行渔业资源调查,发现淡水鱼类 4 目 9 科 19 属 20 种,多为山区溪流小型鱼类,如侧条光唇鱼、台湾白甲鱼、马口鱼、宽鳍鱲、原缨口鳅等。区系组成以鲤科鱼类为主,占保护区鱼类总种数的 45%,其中,桶江河下游鱼类多样性水平最高,可能因为没有受到水坝的影响,较少人为干扰等。邹淑珍^[33]在 2009~2010 年对受万安水利枢纽影响的赣江赣州段进行了鱼类资源采样调查,共采集鱼类 79 种,隶属 7 目 17 科 68 属,渔获物中黄颡鱼类和鲴类最多,各占 19.66%和 17.08%。2011 年胡茂林等^[27]对赣江源自然保护区鱼类资源进行实地调查和研究发现,淡水鱼类共计 16 种,隶属于 4 目 8 科 15 属,且多为山区溪流小型鱼类,如侧条光唇鱼、宽鳍鱲、波氏吻鰕虎鱼、平舟原缨口鳅、信宜原缨口鳅和斑纹缨口鳅等。保护区内以鲤科鱼类为主,占该保护区鱼类总种数的 43.75%。2017 年毛鑫等^[39]对石城赣江源湿地公园调查后发现,共有鱼类 5 目 11 科 43 种,其中包括鲃形目 1 科 1 种,鲤科鱼类占该地区鱼类总种数的 51.14%。

赣江中游段的鱼类研究相比上游较多。邹淑珍等^[33]2008~2009年研究泰和、吉安及峡江等地的鱼类资源,共记录鱼类71种,隶属7目16科58属。2009~2010年在泰和段记录鱼类48种,隶属于3目6科39属,其中以鲤科鱼类最多,占总种数的72.92%^[41]。2009~2010年在峡江至新干江段调查记录鱼类71种,隶属于7目16科58属,峡江段现有7处鱼类产卵场,坝上游有吉水、金滩、槎滩、小江4处,坝下游有巴邱、仁和、新干3处,主要产卵鱼类有赤眼鳟、鲤、鲫、鳊、四大家鱼等,主要影响四大家鱼产卵的外界因素是水位(水流)和水温^[34]。张建铭^[40]在2010年对峡江段的调查显示,该段以鲤形目为主,其次为鲇形目和鲈形目,合鳃目、鲱形目、鳗鲡目、颌针鱼目,新增记录6种,分别为寡鳞鲃、革条副鲃、侧条光唇鱼、青梢红鲃、短颌鲚和间下鱈。

赣江下游地区,河流纵横,汊港密布,为江西主要水产基地之一,鱼类资源丰富,尤以鲥鱼最为名贵。苏念等^[41]2012年对峡江至南昌段进行调查共记录鱼类90种,隶属于6目16科60属。与历史资料^[5,6,42]比较,新增记录3种,分别为高体近红鲮、似鲮和海南鲤。根据徐飞云^[43]和于晓东^[44]对广西鲮提出的仅分布在广东和广西的质疑,苏念验证了广西鲮仍然存在,与历史资料一致。

与 20 世纪 80 年代^[5]相比,赣江鱼类资源,无论是种类还是优势种群都出现明显衰退。除了过度捕捞所造成的资源量下降,水环境的变化外,水利枢纽的影响也是一大因素。陈宏文等^[23]2011 年在赣江流域采集到鱼类 124 种,隶属于 10 目 32 科。赣江流域优势鱼类为鲤科鱼类的青鱼、鲫、鲢、鲤、鳙、~~鳊~~^鲮、鳊鱼、赤眼鳟和黄尾鲴,鲇形目的鲇和黄颡鱼等。与 1973~1975 年发现的鱼类 27 科 115 种的历史数据相比,有 39 种鱼类未发现,但新发现鱼类 17 种。部分珍稀鱼类已多年未发现,如中华鲟、鲟鱼、鮰等。新发现的有食蚊鱼、花鲈等。赣江流域鱼类有 7 目 35 科 120 种,其中上游鱼类 4 目 14 科 22 种,中游鱼类 6 目 28 科 82 种,下游鱼类 7 目 28 科 91 种。全流域未发现的有中华鲟,鲟鱼,刀鲚,弓斑东方鲀,斑条魮,短须魮,拟尖头红鲃,似魮,条纹小鲃,泉水鱼等 33 种。

3 人类活动干扰对赣江流域的影响

3.1 水电建设

筑坝对河流水生生态系统功能的影响已被国内外学者广泛关注^[45~48]。大坝的修建改变河流自然流态,淹没鱼类产卵场,阻断鱼类洄游通道,阻碍了鱼类越冬洄游、索饵洄游甚至造成生殖隔离,导致鱼类资源多样性丧失和资源量减少^[49]。此外,支流上小水电的存在往往导致支流上游在枯水期河溪的断流以及河溪上洄游的阻隔。一些在流水中繁殖的鱼类所要求的涨水条件,可能因为

水库蓄洪坝下河段不出现涨水过程, 鱼类难以正常繁殖。已有研究表明^[50], 大坝是近百年来造成全球 9000 种淡水鱼类中近 1/5 遭受灭绝、受威胁或濒危的主要原因。

水电站的建设使库内含沙量的减少。邱成德等^[51]对章水的坝上水文站多年含沙量的统计, 流域内每建一座水库, 坝上水文站含沙量就减少 1 次。1999 年建成仙人陂电站后, 坝上水文站多年平均含沙量在 1984~1999 年由 $0.195\text{kg}/\text{m}^3$ 减至 $0.074\text{kg}/\text{m}^3$, 多年平均输沙量从 125.8 万吨减少至 46.2 万 t; 同时, 水库的运行对下游径流有调节作用。万安水库对外洲站的径流调节比建库前均匀, 4~6 月的径流量占全年径流量的比例由建站前的 51.6% 减少到 42.3%。此外, 水库的运行会使坝下河流水环境产生滞温效应。建库后出现冬季下泄水温高春季下泄水温低的情况, 可能使坝下出现滞温效应^[52]。赣江流域这方面的研究较少, 不过水电站建设对水温的影响已经得到关注, 主要是库区水温的变化及对生态的影响^[53], 但坝下水温变化还未有研究; 水电站的建设还可能使坝下水体产生气体过饱和, 对鱼类生存造成威胁。2014 年 7 月金沙江梯级电站溪洛渡下游出现气体过饱和现象, 坝下出现大批鱼类死亡事故^[54]。目前, 赣江流域还未开展气体过饱和现象的监测工作, 但是很有必要进行预测和监测, 以避免此类渔业污染事故发生。

万安水利枢纽建成运行, 使赣洲至万安段由自然流动水体转为相对静止的库区, 而且万安水电站并未建鱼道, 导致四大家鱼减少, 鳊、鲃、鲴、鲈类等数量增加, 鱼类区系组成发生了一定的变化。调查发现^[34], 赣州段仍然存在四大家鱼产卵场, 位于坝上赣县储潭镇老虎角, 坝下 3 处产卵场的功能却受到严重的影响。峡江水利枢纽工程建设使坝下江段生境层次简化, 对产漂浮性卵鱼类和产黏性卵鱼类的正常繁殖和发育不利。工程建成后, 随着水文条件的改变, 坝上库区 5 个产卵场和坝下江段 3 个产卵场因产卵环境的改变而逐渐消失, 然而有利于坝上越冬场和索饵场的形成^[35]。万安、泰和、石虎塘和峡江水利枢纽的建成使得赣江原有的 12 处四大家鱼产卵场已逐渐消失, 规模大大缩小, 仅剩储潭和峡江产卵场保存完好, 其它 10 处产卵场底质以沙质为主, 无法满足鱼类产卵条件^[31, 55, 56]。2011 年陈宏文首次通过鱼类完整性指数来评价赣江流域生态系统的健康状态。赣江流域 17 条支流中 70% 调查样点鱼类群落完整性处于一般的状态, 25% 调查样点处于较好状态, 5% 调查样点则处于差的状态, 赣江水系各河流的鱼类群落完整性整体处于“差—一般”的水平。支流完整性要好于干流, 这可能与赣江干流采砂严重, 破坏了鱼类的生长的环境和繁殖有关。总之, 流域干、支流的水生态系统健康处于“差—一般”的水平, 相关研究者认为鱼类完整性受损与人工筑坝和蓄水等人类活动密不可分^[23]。

3.2 工农业污染

赣江是江西省主要城市污水接纳和排泄的通道, 流域内各类工、农业废水和生活污水均直接或通过支流流入赣江。工业废水对总氮、总磷的贡献率仅占 10%~16%, 而生活污水和农田的氮、磷流失是水体富营养化的主要原因^[57], 工业废水则可能增加有机污染物的含量。因此, 工农业生产活动对水环境有着不可忽视的影响; 其中, 以农业面源污染对水环境的影响最为显著。王全金等^[58]指出农田土地利用、畜禽养殖和农业人口是赣江流域农业面源污染的三大主要营养源。

土地利用方式影响污染物的排放和传输过程, 对河流水质具有重要影响^[59, 60]。滞蓄型水保措施对产流的影响主要表现在增大流域的滞蓄量和径流调节能力, 使产流机制向不利于地表径流产生的方向发展。而且利用根系对土壤良好的固结作用, 减小地表径流的侵蚀及输沙能力, 延缓或阻滞泥沙出流, 从而改善水质^[61]。

土地利用和水质的关系研究始于 19 世纪 60 年代^[62], 许多研究表明土地利用与河流水体中的氮、磷含量有着显著关系^[63, 64]。TU 等^[65]、周文等^[66]和刘丽娟等^[67]研究了土地不同利用方式如居住用地、耕地、林地、湿地等和上下游分布格局对水质指标含量的影响, 不同背景对水质的影响不同。SLIVA 等^[68]、WEAR 等^[69]、WANG 等^[70]分析了农田、居民用地等土地利用方式与河流水质的相关性, 不同利用方式影响水质指标超标率的主导因子存在显著差异。吴建强^[71]和刘泉^[72]研究了坡地尺度内不同地形对水质输出的影响, 坡度较高的山地输出的水质改善的较明显。王鹏等^[73]在流域尺度上分析了不同类型土地利用方式(农田、居民用地)使赣江流域河流水质变坏的影响, 结果显示赣江 TP 的污染源主要为丘陵水田、城镇用地和水库坑塘; COD_{Mn} 的污染源主要为水田和农村居民用地; $\text{NH}_4\text{-N}$ 的主要污染源为城镇用地。DO 受土地利用方式的影响较小, 受大坝泄水影响较大。20 世纪 80 年代赣江南昌段农药

污染以有机氯和有机磷为主,1976~1980 年五年平均用量 6370t/a,主要为六六六和 DDT,每亩耕地面积施用量为 3.18kg/a,这些难降解的污染物随土地流失进入水体,进入鱼体沉积的污染物量随之增加。邓月萍等^[9]根据多年来对赣江流域的观测,发现 20 世纪 70 年代以前,赣江流域水土流失严重,超抚河和潦河。经过不断整治,80 年代以后,雨水对地表的剥蚀能力越来越弱,尤其 2008 年以来赣江水土流失降到最低,明显地减小了土壤对水质的影响程度。

现阶段赣江上游赣州,中游万安、吉安和峡江,下游南昌段均工业污染严重^[8, 13, 14, 20, 31, 34],辅以农业污染造成了水体越来越劣的趋势,有些重金属离子如 Zn 是鱼体必需的微量元素,但如果鱼体内含量超过鱼类的耐受值,就可能对鱼类的健康产生威胁,不同重金属元素在鱼体富集量与水体环境的背景值相关,水体污染严重,背景值就越高,会影响鱼体健康和人类饮食安全^[74]。

3.3 采砂及其他人类活动干扰

除上述人类活动以外,赣江流域其它人类活动干扰因素主要为采砂、航运和非法捕捞等。赣江原有 12 处鱼类产卵场,各江段存在天然渔业捕捞方式紊乱的问题,并且没有选择性,大小鱼尽收,非法渔具屡禁不止,这对渔业资源无疑是一种摧毁^[40, 42]。

此外,赣江及其支流有严重的挖沙现象,会一定程度上降低水体透明度和破坏鱼类的繁殖场所,从而导致鱼类的多样性降低。采砂船翻起的泥沙使湖水变浑浊,透明度下降,影响了藻类的光合作用,结果使湖水的初级生产量降低,使鱼类的饵料短缺;其次泥沙悬浮在水中,可能堵塞鱼类的腮或呼吸孔,影响鱼类的正常呼吸,尤其对刚孵出鱼苗更为有害^[75];再者,采砂船的行驶严重堵塞了“三场一通道”(繁殖场、育肥场、产卵场、洄游通道),破坏鱼类的栖息地场所。采砂不仅影响了洄游、半洄游性鱼类的繁殖与索饵,还影响到鱼类的生存。采砂活动引起江岸及水底结构和环境的改变,破坏了产卵场的天然条件,卵粒粘附的基质被冲毁,加之工业、生活污水的排放,水生态环境污染造成鱼类生长缓慢或病态发育,鱼卵、鱼苗等未经孵化或长大已“畸形”。据张建铭等^[30]2010 年调查,中游峡江段沿江两岸非法乱采乱挖的采砂船随处可见,大量采砂将江底的底泥和草场吸走、清除,再加上为了满足赣江流域的航运、发电和防洪等水资源综合利用的需求,修建泰和、石虎塘和峡江水利枢纽,使四大家鱼的栖息、产卵环境和底栖生物的生存场所受到极大的破坏。

航运对河道生态的影响主要是柴油的不完全利用和噪音污染,对水体造成污染,可能影响鱼类某些生理机能,对虾及贝类也会产生不利的影响^[76, 77]。航运作业使得水底噪音污染严重,鱼类宁静的生存环境被破坏,采砂船和航运船每日排放的生活垃圾和油渍都是未经任何处理直接排入水中造成水质下降。据了解,一艘采砂船平均每天需油量大约为 7t^[73],航运船按吨位计,量更大,油渍排入水中浮在水面上,降低水中溶解氧,不仅阻碍浮游植物的生长,一定程度上减少了鱼类饵料的来源,而且还会影响鱼类的呼吸,造成鱼类大量死亡。

综上所述,采砂、航运和非法捕捞不仅影响水环境,破坏鱼类生境,对水生生物的正常生存也会产生不同程度的影响,人为干扰活动的影响总结见表 2。

表 2 赣江流域人类活动干扰对水环境和鱼类的影响

干扰类型	水环境	鱼类	参考文献
水利工程	1. 减少库内含沙量;2. 对下游径流有调节作用;3. 使坝下河流水环境产生滞温效应;4. 可能使坝下水体产生气体过饱和	1. 阻断洄游通道,淹没产卵场;2. 下泄水 DO 过高可能使鱼产生气泡病致死;3. 有利于坝上越冬场和索饵场的形成	邱成德(2007)、TravnichekVH(1993)、曹炳伟(2014)、张建铭(2010)、刘建康(1992)、刘彬彬(2009)、陈宏文(2011)、刘明典(2010)、BAXTERRM(2003)、YOUNGSP(2005)、NOVOTINYV(1997)

工、农业	1. 增加营养盐含量;2. 增加有机污染物含量;3. 泥沙增多	1. 污染物进入鱼体的沉积量增加;2. 水质破坏, 正常生存环境受影响	王全金(2011)、ThomasARC(2013)、JohnesPJ(1996)、TuJ(2011)、周文(2012)、刘丽娟(2011)、邓月萍(2010)、王鹏(2015)
采砂及其他人类活动干扰	1. 水体透明度降低;2. 产卵场被破坏;3. 河道严重冲刷, 生存生境改变	1. 粘附的基质被冲毁;2. 影响鱼类某些生理机能	苏念(2012), 徐飞云(2016), 钟业喜(2005)、张建铭(2010)、崔毅(2003)、黄溢明(1990)

4 结语与展望

赣江是长江经济带建设重要的组成部分,对长江中下游的生态调节具有重要影响。流域内水生态的好坏直接关系着生态健康和人民的生活质量;赣江的开发在带动江西省经济发展的同时,也推动了长江经济带建设的可持续与绿色发展。近些年来,随着人口的增加,人类活动干扰对赣江流域水生态的影响越来越大,主要是水电站建设,工农业污染和航运采沙等,这些干扰活动可能改变河流水温,减少库区含沙量,增加了水体中营养盐和有机污染物的含量,破坏鱼类生存和繁殖场所,威胁鱼类生存。目前在这些干扰活动影响下,水环境和鱼类的大体情况如下:2011年赣江流域水环境达到中度污染类型;鱼类共有124种,隶属10目32科,与历史资料相比,新增17种,但有39种未被发现,并且优势种以土著鱼为主。近10年的鱼类资源调查显示,赣江流域鱼类有7目35科120种,全流域未发现的鱼类包括中华鲟、鲟鱼、刀鲚、弓斑东方鲀、斑条鲮、短须鲮、拟尖头红鲃、似鲮、条纹小鲃、泉水鱼等33种。大型水电站的建设使得洄游鱼类通道被阻隔,产漂流性卵生境逐渐减少,补偿措施可通过禁捕,禁止大开发,增殖放流等,加之上下中游水体环境不同程度的污染变化,对鱼类种群数量的影响日益加大,然而赣江流域目前仍有许多研究空白,比如梯级大坝建成后对坝下水温和溶氧等关乎鱼类生存和繁殖条件的影响还未有研究和监测,今后应加强水电站对水体溶解氧和水温变化的影响研究,在长江大保护的背景下,统筹实施赣江流域枢纽运行管理,加强赣江流域生态修复工程,生态环保管理和环境综合治理,水资源科学调度与综合利用等。

在人为干扰活动影响下,水生态存在的问题成为流域生态可持续发展面临的难题,通过对流域内水环境和鱼类资源的现状分析,可以从宏观上反应生态环境对人类生活和发展的重要性。水库的建设对水生态的影响是长期的,短时间内对水环境的变化未定,因此需要长期调查和监测。目前对赣江流域的研究多是将水资源承载力与水质质量承载力两者分开进行,缺少综合性和定量化的研究成果,多目标优化体系是发展的方向。水库造成水生生物种群数量的改变,对生物多样性的退化产生不可逆的影响。工程对鱼类繁殖的不利影响,因工程的性质和规模不同,差别是相当悬殊的,不能笼统地一概而论,而需要对具体情况作具体分析。工农业废水的排放已经成为河流水质污染的重要促进手段,工厂废水未经处理或处理未达标而直接排放入河,对生态系统可持续发展和沿岸及下游人民的生产生活都有重要影响。加强对城市生产生活污水特别是工业废水排放的监测和管理可采取以下几点措施:对沿岸的化工厂进行严格的管理和控制,监管其排放的污水是否达标;合理干预人们在水上的生产生活活动。

鄱阳湖水位自然变幅大,水旱等自然灾害频发。由于缺乏必要的调控措施,鄱阳湖出现极端的水文情势或面对三峡水库减泄或增泄产生的不利影响时,都显得无能为力。赣江流域水电站的调度,在很大程度上也影响着鄱阳湖的水文情势,尤其是在长江经济带建设背景下,对鄱阳湖的规划中,在鄱阳湖修建大坝对赣江的影响也是相互的。考虑生态因素后在对水库经济效益即发电量的总体影响不大时,需要考虑赣江下游电站和鄱阳湖大坝的生态适宜需水量的联合调度,同时这种调度也可适用于赣江流域的大坝中,比如石虎塘枢纽、峡江枢纽,和万安枢纽的联合调度,以缓解工程建设对河流水生生物尤其是鱼类的影响。增殖放流是可以优先考虑的补充鱼类种群和数量的有效措施,利用增殖放流有利于物种交配繁殖,达到增加鱼类种群数量的目的。最后,禁止禁渔期采砂也非常有必要。

参考文献:

-
- [1] 《中国河湖大典》编纂委员会. 中国河湖大典[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010.
- [2] 付国儒. 赣江[J]. 江西水利科技, 1984, 56-58.
- [3] 水利概况, 江西省水利厅. <http://www.jxsl.gov.cn/sl原因/index.html>.
- [4] 邹淑珍, 吴志强, 胡茂林, 等. 赣江石虎塘航电枢纽工程对鱼类的影响[J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30(2):267-271.
- [5] 郭治之, 刘瑞兰. 江西鱼类的研究[J]. 南昌大学学报, 1995, 19(3):222-232.
- [6] 田见龙. 万安大坝截流前赣江鱼类调查及渔业利用意见[J]. 淡水渔业, 1989(1):33-39.
- [7] 邹淑珍, 吴志强, 胡茂林, 等. 水利枢纽对河流生态系统的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22):11923-11925.
- [8] 金腊华, 石秀清. 万安水库对赣江中游水质的影响[J]. 江西水利科技, 1995, 21(3):159-162.
- [9] 杨国华, 陈小兰, 刘慧丽. 污染负荷历史曲线法在赣江流域水污染物总量监控中的应用[J]. 江西科学, 2007, 25(6):726-729.
- [10] 吴速英, 许洪胤, 钟洪鸣, 等. 赣江流域水资源承载能力初步分析[J]. 中国资源综合利用, 2009(2):28-30.
- [11] 邓月萍. 1957~2007 年赣江、抚河与潦河流域的输沙变化及其环境意义[D]. 南昌大学, 2010. DENGYP.
- [12] 赣州市人民政府. 赣州年鉴[M]. 北京:方志出版社, 2004:39.
- [13] 郑绿茵, 郭维, 李国伟. 赣江赣州城区段水质调查分析与评价[J]. 广东化工, 2014, 41(9):145-146.
- [14] 陈采华. 赣江干流吉安段水污染空间变化及成因探讨[J]. 江西化工, 2016(2):156-158.
- [15] 江西省统计局. 江西统计年鉴 2006[M]. 北京:中国统计出版社, 2006, 6:170-174.
- [16] 王毛兰, 周文斌, 胡春华, 等. 赣江流域水体无机氮分布特征[J]. 南昌大学学报(理科版), 2007, 3(3):271-275.
- [17] 李爱平. 赣江吉安段水质分析评价及保护对策初探[D]. 南昌大学, 2013.
- [18] 戴亨椿. 赣江南昌市段水质状况[J]. 江西省水文总站, 1983:27-31
- [19] 朱朝晖. 赣江樟树段水环境及水污染控制研究[D]. 南昌大学, 2009.
- [20] 胡锋平, 侯娟, 罗健文, 等. 赣江南昌段污染负荷及水环境容量分析[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(12) 192-195.
- [21] 胡美琴, 林锡芝. 万安大坝截流前赣江的浮游植物[J]. 淡水渔业, 1988(3):39-42.

-
- [22]李栋梁,李琴,李鸣,等.赣江水环境承载力及动态变化特征[J].中国农村水利水电,2014(1):86-89.
- [23]陈宏文,张萌,刘足根,等.赣江流域淡水生态系统完整性与健康状态的鱼类 F-IBI 值评价[J].长江流域资源与环境,2011,20(9):1098-1107.
- [24]李燕,王鹏,陈波,等.赣江南昌段水化学特征及城区影响[J].长江流域资源与环境,2018,27(2):386-394.
- [25]刘雁翼,彭忠福,马大前.江西省水资源开发利用研究[EB].<http://www.waterinfo.com.cn/xsgz/gndt/Document/65886/65886.html>.
- [26]贾蕊.赣江南昌段河流健康评价研究[D].南昌大学,2012.
- [27]胡茂林,吴志强,李晴,等.江西赣江源自然保护区鱼类物种多样性初步研究[J].四川动物,2011,30(3):467-470.
- [28]胡茂林,吴志强,刘引兰.赣江中游泰和江段的鱼类资源现状[J].南昌大学学报,2010,34(1):90-93.
- [29]张建铭,吴志强,胡茂林,等.赣江中游峡江段鱼类资源现状[J].江西科学,2009,27(6):916-919.
- [30]张建铭,吴志强,胡茂林,等.赣江峡江段四大家鱼资源现状的研究[J].水生态学杂志,2010,3(1):34-37.
- [31]郭声.赣江中游泰吉段鱼类的群落结构与种类多样性研究[D].南昌大学,2012.
- [32]刘彬彬,吴志强,胡茂林,等.赣江中游四大家鱼产卵场现状初步调查[J].江西科学,2009,27(5):662-666.
- [33]邹淑珍.赣江中游大型水利工程对鱼类及其生态环境的影响研究[D].南昌大学,2011.
- [34]邹淑珍,吴志强,胡茂林,等.峡江水利枢纽对赣江中游鱼类资源影响的预测分析[J].南昌大学学报,2010,34(3):289-293.
- [35]李东明,胡茂林,苗春,等.赣江水利枢纽开发对峡江段四大家鱼保护区的影响与对策[J].海洋湖沼通报,2015(4):77-82.
- [36]峡江水利枢纽工程环境影响评价报告书[R].上海勘测设计研究院,南昌大学,2009.
- [37]郭琴,刘雄军,敖雪夫,等.赣江中下游鱼类多样性:威胁与保护[J].2017年中国水产学会学术年会,2017:99.
- [38]李晴,吴志强,黄亮亮,等.江西齐云山自然保护区鱼类资源[J].动物分类学报,2008,33(2):324-329.
- [39]毛毳,廖宁,王晓佳,等.江西石城赣江源国家湿地公园野生脊椎动物资源调查[J].安徽农业科学,2016,44(35):14-16.
- [40]张建铭.赣江峡江段四大家鱼资源及其遗传多样性研究[D].南昌大学,2010.
- [41]苏念,李莉,徐哲奇,等.赣江峡江至南昌段鱼类资源现状[J].华中农业大学学报,2012,31(6):756-764.

-
- [42]张鹤,刘焕章,何长才.赣东北地区鱼类区系的研究[J].动物学杂志,1996,31(6):3-12.
- [43]徐飞云,李久煊,韩卫杰,等.江西省鱼类物种多样性及其保护[J].江西农业大学学报,2016,38(5):975-985.
- [44]于晓东,罗天宏,周红章,等.长江流域鱼类物种多样性大尺度格局研究[J].生物多样性,2005,13(6):473-495.
- [45]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].长江科学院院刊,2010,27(2):1-10.
- [46]NOVOTNY V,BARTOSOV A,OREILLY N,et al.Unlocking the relationship of biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stresses[J].Water Research,2005,39(1):184-198.
- [47]BAXTER M.Environmental effects of dams and impoundments[J].Annual Review of Ecology and Systematics,1997(8):255-283.
- [48]YOUNG S P,CHANG J,LECK S,et al.Conservation strategies for endemic fish species threatened by the three gorges dam[J].Conservation Biology,2003,17(6):1748-1758.
- [49]ZHANG L,XU J,XIE P,et al.Stable isotope variations in particulate organic matter and a planktivorous fish in the Yangtze River[J].Journal of Freshwater Ecology,2007(22):383-386.
- [50]Bräutigam A.淡水生物多样性危机[EB/OL].朱江译.世界自然保护联盟通讯(IUCN),1999(10).<http://monkey.ios.ac.cn/iucn/bulletin/10/02.html>.
- [51]邱成德,曾礼生.赣江上游水利工程对水文测站影响分析[J].江西水利科技,2007(1):38-42.
- [52]TRAVNICHEK V H,ZALE A V,FISHER W L.Entrainment of ichthyoplankton by a warmwater hydroelectric facility[J].Transactions of the American Fisheries Society,1993(122):709-716.
- [53]曹炳伟,雷波,余锦龙,等.江西省赣江干流重要水利枢纽建设对流域水温影响的研究[J].江西化工,2014(1):35-38.
- [54]2014年7月溪洛渡坝下相关水域死鱼事件调查、鉴定与渔业损失评估报告[M].武汉:农业部长江中上游渔业生态环境监测中心,2014.
- [55]刘建康,曹文宣.长江流域的鱼类资源及其保护对策[J].长江流域资源与环境,1992,1(1):17-22.
- [56]刘彬彬,吴志强,胡茂林,等.赣江中游四大家鱼产卵场现状初步调查[J].江西科学,2009,27(5):662-666.
- [57]李贵宝,尹澄清,周怀东.中国“三湖”的水环境问题和防治对策与管理[J].水问题论坛,2001,(3):36-39.
- [58]王全金,徐刘凯,向速林,等.应用输出系数模型估算赣江下游非点源污染负荷[J].人民长江,2011,42(23):30-33,106.
- [59]THOMAS A R C,BONDA J,HISCOCK K M.A multi-criteria based review of models that predict environmental impacts

of land use change for perennial energy crops on water, carbon and nitrogen cycling[J]. *GCB Bioenergy*, 2013, 5(3):227-242.

[60]JOHNES P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modeling approach[J]. *Journal of Hydrology*, 1996, 183(3-4):323-349.

[61]许琴. 水土保持措施对水资源的影响研究[D]. 南昌大学, 2010. XU Q. The impact of soil and water conservation measures on water resources[D]. Nanchang University, 2010.

[62]KUEHNE R A. A classification of streams, illustrated by fish distribution in an eastern Kentucky creek[J]. *Ecology*, 1962, 43(4):608-614.

[63]HALL K J, Schreier H. Urbanization and agricultural intensification in the lower Fraser River Valley: impacts on water use and quality[J]. *Geo Journal*, 1996, 40(1/2):135-146.

[64]RITTER W F, SHIRMOHAMMADI A. *Agricultural Nonpoint Source Pollution: Watershed Management and Hydrology*[M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001.

[65]TU J. Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression[J]. *Applied Geography*, 2011, 31(1):376-392.

[66]周文, 刘茂松, 徐驰, 等. 太湖流域河流水质状况对景观背景的响应[J]. *生态学报*, 2012, 32(16):5043-5053.

[67]刘丽娟, 李小明, 何兴元, 等. 流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展[J]. *生态学报*, 2011, 31(19):5460-5465.

[68]SLIVA L, WILLIAMS D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality[J]. *Water Research*, 2001, 35(14):3462-3472.

[69]WANG G Q, A Y L, XU Z X, et al. The influence of land use patterns on water quality at multiple spatial scales in a river system[J]. *Hydrological Processes*, 2014, 28(20):5259-5272.

[70]WEAR D N, TUENER M G, NAIMAN R J. Land cover along an urban-rural gradient: implications for water quality[J]. *Ecological Applications*, 1998, 8(3):619-630.

[71]吴建强. 不同坡度缓冲带滞缓径流及污染物去除定量化[J]. *水科学进展*, 2011, 22(1):112-117.

[72]刘泉, 李占斌, 李鹏, 等. 模拟降雨条件下坡地氮素流失特征试验分析[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(1):6-10.

[73]王鹏, 齐述华, 陈波. 赣江流域土地利用方式对河流水质的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(13):4326-4337.

[74]李东明, 简少卿, 胡茂林, 等. 赣江中游吉安段经济鱼类肌肉重金属含量测定[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2015, 39(3):292-295.

[75]钟业喜, 陈姗. 采砂对鄱阳湖鱼类的影响研究[J]. 江西水产科技, 2005(1):15-18.

[76]黄溢明. 水污染物对鱼类某些生理机能的影响[J]. 中山大学学报论丛, 1990, 9(2):156-160.

[77]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, 4(1):35-41.