

综 述

基于河床调流的河道微生物改善技术综述

于鲁冀¹, 李廷梅^{2,3}, 李羽仙⁴, 李晓琳^{2,3}, 柏义生^{2,3}, 王惠英^{2,3}

(1. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学环境政策规划评价研究中心, 河南 郑州 450003;
3. 郑州大学环境技术咨询工程有限公司, 河南 郑州 450003; 4. 许昌市水利规划设计院, 河南 许昌 461000)

摘要:总结了河流的微生物因子及改善技术,为生态治理提供理论参考和技术借鉴。生物的空间分布格局是不同尺度上各种生物因子和非生物因子长期综合作用的结果,河流中水生生物的生存状况与其所处微生物环境条件息息相关。微生物改善作为一种重要的水生态修复措施,对于提高水生生物多样性、构建完整河流生态系统结构、恢复河流健康具有重要意义。在分析河道微生物主要因素的基础上,重点介绍了丁坝、深槽-浅滩和堰/砾石群3种微生物改善技术,并对当前技术应用存在的问题进行了分析和展望。

关键词:河道;微生物;河床调流

中图分类号:X171.4,X143 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2017)03-0001-07

近年来,人类活动干预、自然径流匮乏、污染物排放、河流裁弯取直等极大改变了河道生境条件,致使许多河流出现了水质恶化、水生生态系统破坏等现象,造成生物多样性降低、河流自净能力降低甚至丧失等后果。随着污染治理技术的不断提高,河流水质污染问题有所缓解,但河流的生物多样性、生物栖息环境状况依然不佳,而且现有的治理措施大多只注重水质的改善,缺乏对生态系统整体性的考虑,导致河流污染问题难以从根本上解决。

生物的空间分布格局是不同尺度上各种生物因子和非生物因子长期综合作用的结果,微生物对于河流中生物的生存具有重要影响。Michael等(2011)指出地貌形态多样化的河流拥有不同的水力学特征,有利于创造适合克拉氏鲑幼鱼生存的条件;陆强等(2013)指出底质类型对底栖动物空间分布可产生显著影响;贾磊(2016)通过构建砂砾滩、增加河道形态复杂性提高了试验段河流生物多样性及栖息地复杂性。通过适当的人工干预改变河流的水流条件,如设置丁坝、塑造浅滩-深潭等河床调流措施,能够引导河流蜿蜒化,改善河流生态系统的完整性和可持续性,对河道生物多样性的恢复有积极意义。本文通过总结微生物因子及改善技术,为河流的生态治理提供理论参考和技术借鉴。

1 河道微生物内涵与意义

河流生境,又称河流生物栖息地,与生物多样性紧密相关(王建华等,2010),一般是指河流生命物质赖以生存的局地环境,如浅滩、深塘、卵石、水草、枯落物、倒木、砂砾或淤泥底质等,它们在河流演化的区域背景上形成并构成河流生命物质的基础支持系统,是河流生态系统的重要组成部分。河流生境分为宏观生境(河流系统本身,可能长达数千千米)、中观生境(河段范围,尺度范围为几十米到1 km左右)和微观生境(尺度为几米甚至更小的微栖息地结构)(Warren,1979)。生境条件也是评价河流生态系统破坏与否的重要依据,如某些生境的缺失表明了物理生境的退化,单一生境可以反映出某种工程措施如洪水防御工程对生物生境的广泛影响,典型生境及其有序的分布可以作为河流恢复的目标(石瑞花等,2010)。河流生境评价方法主要有生境适宜度模型法、生境模拟法、快速生物评价方案(Rapid RBPs)、河流生境调查(RHS)、河流状态指数(ISC)、河流地貌指数法(HGM)等。微生物改善的实质为通过一定的手段,创造适宜的局部环境条件,促进水生生物的生长,是恢复河流生态系统的内生动力从而促进生态系统向良性方向发展的有效手段。

2 河道微生物主要物理因子

河流生境的因子包括影响水生生物生活的物理、化学和生物因子,主要有水质、能量物质(如温度、有机物、营养物)、河道物理结构(如河道大小、

收稿日期:2016-03-21 修回日期:2017-04-06

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07204-002-004)。

作者简介:于鲁冀,1962年生,男,教授,主要从事水生态净化与修复、环境微生物等方面研究。E-mail:yuluji@126.com

形状、坡度、河岸结构、底质大小与组成等)以及流量等(Stalnaker, 1979),这些因子影响着水生生物的分布与群落结构组成。如对鱼类分布而言,海拔、河流等级和土地利用在流域尺度上表现出显著影响,速度与深度结合等级、栖息复杂性等级和电导率等因子在河段尺度上表现出显著作用,底质等级在微生物尺度上具有显著作用。一般来讲,除河流水质外,水深、流速等水动力参数及河床底质的复杂程度是评价河流栖息质量的重要参数。杨宇等(2007)总结了表征栖息地水力学条件的特征量主要有3大类:水流特征量包括流速、流速梯度、流量和含沙量,河道特征量包括水深、底质类型和湿周,无量纲量有弗劳德数和雷诺数。在微生物层面,化学因子主要有溶解氧、pH值和有机质等,这些条件的改善多依赖于各类净化措施,因此本文主要对流速、水深、底质3个因子进行阐述。

2.1 河流地貌多样性

河流地貌是河流在运动过程中所形成的地貌形态,栖息地多样性由其内部的水文地貌单元决定(Thomson et al, 2001),不同的水流形态与河床地貌单元组合,构成了河流栖息地光照、水温、含氧量、食物、流速、底质等特征多样化(赵银军等, 2014),河床地貌类型有深槽、浅滩、缓流、急流、岸边缓流和回流等(石瑞花等, 2008),多样化的地貌类型也能够为更多生物的各个生长周期提供合适的条件。同时横断面形状多样性、河床材料透水性和多孔性以及上、中、下游的生境异质性是保持河流多样性的重要因素(董哲仁, 2008)。蜿蜒河流与经过人工渠化的直线河道相比,更利于河流生态环境的健康,蜿蜒性使得主流、支流、河湾、沼泽、急流和浅滩等丰富的生态环境得以形成,由此形成了丰富的河滨植被、河流植物,为鱼类的产卵创造条件,也是鸟类、两栖动物和昆虫的栖息地和避难所。从纵向来讲,河流的蜿蜒度是影响生物生产力的重要因素,蜿蜒河道能够为部分水生动物创造稳固的河床边缘生境,有利于其生存和发展(Nakano et al, 2008)。

2.2 河道流速等物理参数

2.2.1 水流对水生生物群落结构的影响 水流对水生生物群落结构的影响因素包括流速和流量。流速是生境中重要的因子(Leunda et al, 2009),是解释群落结构最重要的变量,多样化的流速是影响底栖无脊椎动物群落结构多样化最基本的环境因子(Nelson et al, 2002; Nelson, 2011)。在不同流速情况下,河流才会衍生出各种不同的生物群落,水动力的

丧失意味着流速的消失,制约了河流的水体自净能力,生物群落就会大量减少(焦飞宇, 2012)。

水流流量不仅影响河流生产力(Patterson et al, 1991)、种间和种内的竞争力、稚虫的分布地点(Kim et al, 1997),而且对河流底栖动物群落结构有显著性影响。孙小玲等(2012)对春季昌江大型底栖动物群落结构及功能摄食类群的空间分布研究表明,流量的增加会加速河流中沿岸凋落物的输入,水温的升高会加速凋落物的分解,进而增加河流中有机碳和其他溶解物质的含量,增加浮游植物和固着藻类群落,从而增加以其为食的底栖无脊椎动物的群落结构。Li等(2009)通过最低要求河道流量(水文级)、最小河道环境流量(生物物种水平)和最佳河道环境流量(生态系统水平)研究,发现年平均流量的42.91% ($2.639 \text{ m}^3/\text{s}$)是保护河流生态系统健康、保持河道生物多样性、减少小水电站影响的最佳河道环境流量。

2.2.2 水深对水生生物群落结构的影响 不同的水深,水生生物聚集的种类和密度也存在差异。河流水深是影响底栖无脊椎动物的重要因素,在很小的范围内,水深与底栖无脊椎动物的均匀度成正相关,与多度成负相关关系(Beisel et al, 1998)。水中溶解氧和光照强度也间接受到水深的影响,从而影响水中生物分布(杨青瑞, 2010)。整体上浅水区(浅滩)中滤食者和刮食者类群的密度、生物量、丰富度指数明显高于深水区(深潭),深水区较为适合收集者和捕食者底栖类群的聚集(Heino, 2000)。

2.2.3 底质对水生生物群落结构的影响 河流的基质层一般有基石、砾石、卵石、砂、黏土、淤积物、有机质等类型,基质成分、粒径和颗粒级配等决定了基质层的异质性和稳定性,对底栖动物的组成有较大影响(段学花等, 2007)。塑造适合的河流底质环境可以增加河流微生物的适应性(侯俊等, 2012)。一般来说,河床底栖动物丰富度从高到低的顺序依次为:卵石河床 > 泥质河床 > 沙质河床,底栖动物多样性随粒径先降低后增高再降低,粒径级配良好且有水草生长的卵石河床是物种多样性最高的基质类型。不同底质中的底栖动物优势种常有明显差异(McCarthy et al, 1998),卵石河床和有附生植物的基岩河床以蜉蝣类为主,淤泥质河床以摇蚊幼虫为主,而沙质河床对底栖动物非常不利。底质粒径范围较广的河床不仅为附生动物提供了很大的附着面积,而且其缝隙也为底栖动物提供了大量的生存空间和避难场所(Bona et al, 2008)。

3 河道微生境改善的途径及主要河床调流手段

通过人工干预改善河道水力条件, 塑造丰富的河流地貌以及多样性的河流形态, 创建适应生物生长的多样性的生境, 并提高河道自净能力, 是河流修复的重要组成部分(高永胜, 2006)。王强等(2014)采用河流生境调查(RHS)方法对典型山区河流东河进行了生境调查与评价, 提出了东河河流生境恢复措施: 上、中游地势陡峭、沿岸人口密度低、水能资源丰富, 可实施生态放流措施; 下游人为干扰强度大(土地开发、采砂、排污及水工构筑物等), 生态恢复重点为改造和重建河岸林, 对采砂河道恢复其浅滩-深潭生境格局。Harrison 等(2004)认为河流生态系统修复最先考虑的是修复底栖动物。只有底栖动物开始复活, 以其为食的大型河流动物才能开始栖息。米艳杰等(2010)认为河流蜿蜒性以小空间尺度为对象的修复, 可通过人工堆石、设置构造物、在河流横断面上设置倒流木等措施; 在河流某段区间或更大尺度上的修复, 可改变直线化河道的平面形状而再蛇形化。通过恢复河道的自然水文水力条件进而重建其生态环境是有效措施(吴保生, 2005)。河道内栖息地的修复技术主要是修复鱼类和水生无脊椎动物的生活场所, 常用的技术手段有构建鱼道、浅滩-深潭结构、基质恢复、河岸覆盖物和设置乱石堆、丁字坝等模拟水生动物偏好的场所(汪雯等, 2009)。构建深潭-浅滩生态化河床有助于植被的良好发育和构建多样性的生物栖息地, 构建丁坝可增加河道蜿蜒性, 河流弯曲有助于强化其自净功能(倪晋仁等, 2006), 在河流中设置落差工程可恢复河道纵向连续性(陈婉, 2008)。

3.1 丁坝构建技术

丁坝是坝身与堤岸相接呈 T 字形的保护堤岸水土的建筑物, 可以束窄河床, 改变河流的水流流态、水面高程、流速等, 增加河道局部流态的多样性, 对改变岸坡和河床的形态(应强等, 2004; 李洪, 2003)及水文条件有重要影响, 进而影响水生生物群落结构的稳定。丁坝群的联合使用可以促使河流地貌向深槽-浅滩演变, 改善生物栖息环境, 提高河道的局部生物多样性, 实现河流形态的蜿蜒化, 对河流生态修复和生境的改善具有积极意义。丁坝对微生境改善效果可以通过其对栖息地可使用面积(WUA)的影响体现出来。吴瑞贤等(2012)研究表明丁坝对下游的影响范围为上游的 2~6 倍, 且双丁

坝配置较单丁坝配置有较优的 WUA。刘明洋等(2014)指出长度与稳定河宽之比在 0.25~0.33、坝头与坝长之比在 0.20~0.25 的 L 形及正交生态丁坝, 交错放置于河道中, 可以营造出满足齐口裂腹鱼产卵的水力特性的流场, 增加 WUA 值; 且修建生态丁坝后, 修复效果明显, 产卵场修复面积有所增加。范玥等(2014)证明建立丁坝能显著提高长江口四大家鱼的栖息地适合度指数。王卫东等(2007)指出潜水丁坝为湖滨带水生植物和底栖动物螺蛳等生长创造良好的生境条件, 提高了河湖生物多样性。图 1 为丁坝的示意图(马亚琼, 2014)。

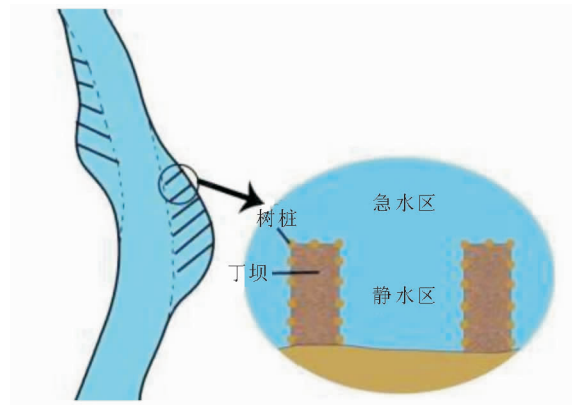


图 1 丁坝示意

Fig. 1 Schematic diagram of a spur dike

3.2 深槽-浅滩构建技术

深槽-浅滩序列是河流纵断面深浅交替的形态, 是蜿蜒型河道的典型地貌特征(O'Neill et al, 1984)。交错排布的深槽-浅滩序列可以改变河流流态, 塑造丰富的河流断面, 增加水深和水流多样性以及河床异质性, 增大水流阻力和河床抗冲刷力, 稳定河床和岸坡, 形成适宜多种生物的栖息地(孙东亚等, 2006)。余国安等(2008)研究发现人工阶梯-深潭系统形成后, 物种丰度、单位面积生物密度均有显著提升。王强等(2012)研究了重庆东河上游 21 个浅滩和深潭的大型底栖动物分布特征, 结果表明浅滩中大型底栖动物的密度、生物量、丰富度指数均明显高于深潭。研究认为, 深潭的深度越深、面积越大, 水生物种的种类越多, 在城市河道中修建深潭, 对河流的生态系统、河流水质和景观有积极作用(王兵等, 2014)。深槽-浅滩序列可以通过疏浚和堆放自然材料来直接构建, 或者在河道内设置丁坝、堰、安置砾石群等通过水沙作用间接形成。深潭-浅滩序列的间距一般为 5~7 倍河道宽度, 很少小于 3 倍或多于 10 倍河道宽度(Boon, 1997)。河流中深槽-浅滩示意图如图 2(日本财团法人河流整治中

心,2003)。

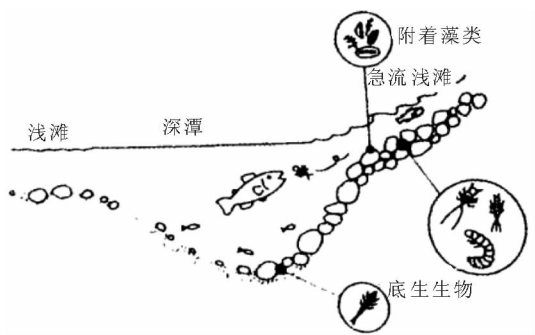


图2 河流中深槽-浅滩系统示意

Fig.2 Schematic diagram of the constructed deep groove-shallow riffle in river

3.3 堰/砾石群构建技术

堰/砾石群构建结构是利用砾石、块石在河道中堆放建造的建筑物。其中,所堆放的砾石跨越整个河道的横式建筑物为堰,量少、块大的砾石按一定组合模式堆放在河道中的结构为砾石群。堰坝、砾石

群都能够通过改变河道的坡降和局部流场,改变河道泥沙的冲淤变化格局,促进河流有机质的降解(刘玉玲等,2011)。相关研究表明,堰的倾斜角度与其复氧效果和水质净化效果有关(王锦旗等,2012),可以延长水体在河道内滞留时间,透水性生态堰还可以保障水体的连续性,改善水流活力,为底栖动物、两栖类和鱼类提供适宜生境(Cranz et al, 2003);砾石群有利于创造多样化的流速和水深条件,丰富河道栖息地环境(张光锦,2009),提高河流的溶解氧水平(李元,2013)。设置多级拦水堰能够提高渠道粗糙程度,增大流动水体能耗,改变水流动力条件和营养盐空间分布(李如忠,等,2015)。砾石群也可以用于增加或修复河道的复杂度和水利条件的多样性,制造跌水来增加水中溶解氧的含量,吸附COD、氨氮和磷等污染物,从而达到净化水质的目的(孙飞云等,2012)。生态堰和砾石群的示意图分别如图3和图4。

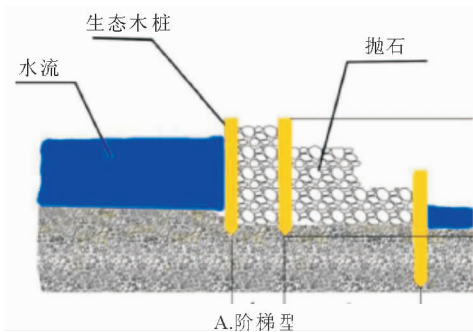


图3 堰/砾石群示意

Fig.3 Schematic diagram of an ecological weir

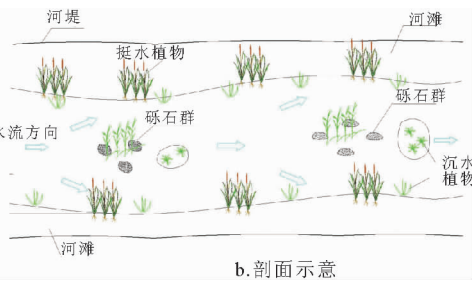
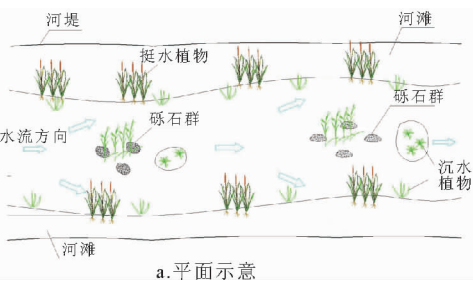
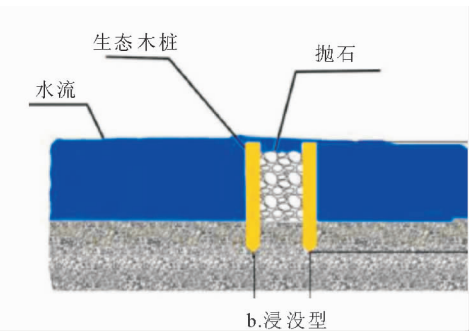


图4 砾石群示意

Fig.4 Schematic diagram of the gravel group set in the river

4 存在问题与发展方向

河道微生境改善技术对于恢复水生生物多样性、促进河流向良好状态转变具有重要的意义,同时有利于形成富氧-厌氧的微环境,对氮等污染物的去除也具有积极作用。作为一种相对微观尺度的治理技术,其融合了水利、生态、环境等多学科原理,实

施过程中需要系统考虑河流的各种条件,是一项复杂的生态工程,但在当前的研究中还存在一定的问题。

(1)缺乏量化的效果表征。目前研究中对微生境改善技术实施后生物多样性提高效果、河流底质结构改变情况等还没有明确的定性和定量表征,不同学者之间的研究结果缺乏统一的评判标准,对

于微生物改善技术的机理也不够清晰,水生生物对河流生境变化响应机制也不够完善。以后要加大这方面的研究。

(2)功能相对单一。微生物改善技术与其他类型技术的结合还不够紧密,如很少关注对河道污染物的去除、与景观性结合不够紧密等,对河流生态系统结构、功能修复的关注也不够。可以与其他技术相结合,系统全面考虑,发挥多种功能。

(3)尚未形成相对成熟的技术模式。目前微生物改善的研究多是对单一的技术或某几种技术组合,重点关注技术实施后的效果,而缺少对技术之间协同效果的研究,且各类技术方法均来自相关学科,尚需形成独具特色的方法体系。应注重对各种技术进行优化组合,形成相对固定技术模式,以利于河道微生物改善技术的推广应用。

(4)缺乏对技术措施长期稳定性的考虑。微生物改善的技术措施多在河道中直接进行,受河流水力条件、冲淤平衡等问题的影响,深槽-浅滩序列、丁坝等这些措施也会受到河流自然丰、平、枯水期不同流速及流量的影响,如何稳定存在并保持效果,当前研究中较少提及,在以后研究中不可忽视对稳定性的考虑。

(5)缺少实际应用,难以正确评估技术的实施效果。目前我国对微生物改善的研究多停留在理论和探索阶段,工程应用还不够多。应注重考察实际工程的效果,并结合实际应用情况对技术进行补充完善。

参考文献

陈婉,2008.城市河道生态修复初探[D].北京:北京林业大学:36.

董哲仁,2008.河流生态系统结构功能模型研究[J].水生生态学杂志,1(5):1-7.

段学花,王兆印,程东升,2007.典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性[J].生态学报,27(4):1664-1672.

范玥,徐宿东,李锐,等,2014.整治建筑物对栖息地适合度指数影响的研究[J].中国水运月刊,14(4):321-324.

高永胜,2006.河流健康生命评价与修复技术研究[D].北京:中国水利水电科学研究院:91.

侯俊,王超,王沛芳,等,2012.卵砾石生态河床对河流水质净化和生态修复的效果[J].水利水电科技进展,32(6):46-49.

贾磊,2016.坝下河道水生生物栖息地的生态恢复研究[J].泥沙研究,(4):62-67.

焦飞宇,2012.裁弯取直对河流健康状况的影响研究[D].天

津:天津大学:35.

李洪,2003.丁坝水力学特性研究[D].成都:四川大学:2.

李如忠,张翩翩,杨继伟,等,2015.多级拦水堰坝调控农田溪流营养盐滞留能力的仿真模拟[J].水利学报,46(6):668-677.

李元,2013.河床调流措施对河流生态修复作用研究——以长春市水源地入库生态河道为例[D].长春:东北师范大学.

刘明洋,李永,王锐,等,2014.生态丁坝在齐口裂腹鱼产卵场修复中的应用[J].四川大学学报(工程科学版),46(3):37-43.

刘玉玲,高升,白凯,2011.西安护城河水质分析与生态修复方案[J].水资源与水工程学报,1(22):63-65.

陆强,陈慧丽,邵晓阳,等,2013.杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系[J].生态学报,33(9):2803-2815.

马亚琼,2014.基于近自然河流理论的许昌清泥河景观规划设计[D].北京:中国林业科学研究院:30.

米艳杰,何春光,王隽媛,等,2010.河流地貌多样性修复技术研究[J].水利水电技术,41(10):15-17.

倪晋仁,刘元元,2006.论河流生态修复[J].水利学报,37(9):1029-1037.

日本财团法人河流整治中心,2003.多自然型河流建设的施工方法及要点[M].周怀东,译.北京:中国水利水电出版社:5-10.

石瑞花,许士国,2008.河流生物栖息地调查及评估方法[J].应用生态学报,19(9):2081-2086.

石瑞花,许士国,李旭光,2010.基于Fr数分布域的河流生物栖息地量化研究[J].水力发电学报,29(1):142-146.

孙东亚,董哲仁,许明华,等,2006.河流生态修复技术和实践[J].水利水电技术,37(12):4-7.

孙飞云,林鲁生,董紫君,等,2012.龙岗河干流综合治理工程生态修复设计与应用[J].水利水电技术,8(43):103-106.

孙小玲,蔡庆华,李凤清,等,2012.春季昌江大型底栖无脊椎动物群落结构及功能摄食类群的空间分布[J].应用与环境生物学报,18(2):163-169.

汪雯,黄岁樑,张胜红,2009.海河流域平原河流生态修复模式研究I——修复模式[J].水利水电技术,40(4):14-19.

王兵,刘慧博,李峪,等,2014.深潭的功能及在城市河道治理中的构建模式[J].中国水土保持科学,12(3):107-112.

王建华,田景汉,吕宪国,2010.挠力河流域河流生境质量评价[J].生态学报,(2):481-486.

王锦旗,郑有飞,王国祥,2012.城市小型湖泊生态修复方式探讨[J].环境污染与防治,4(34):97-100.

王强,袁兴中,刘红,2012.山地河流浅滩深潭生境大型底栖

- 动物群落比较研究——以重庆开县东河为例[J]. 生态学报, 32(21): 6726–6736.
- 王强, 袁兴中, 刘红, 等, 2014. 基于河流生境调查的东河河流生境评价[J]. 生态学报, 34(6): 1548–1558.
- 王为东, 尹澄清, 卢金伟, 等, 2007. 潜水丁坝在湖滨带生态恢复中的应用[J]. 环境工程学报, 1(2): 135–138.
- 吴保生, 陈红刚, 马吉明, 2005. 美国基西米河生态修复工程的经验[J]. 水利学报, 36(4): 472–477.
- 吴瑞贤, 陈嫵如, 葛奕良, 等, 2012. 丁坝对鱼类栖地的影响范围评估[J]. 应用生态学报, 23(4): 923–930.
- 杨青瑞, 陈求稳, 2010. 漓江大型底栖无脊椎动物及其与水环境的关系[J]. 水利水电科技进展, 30(6): 8–10.
- 杨宇, 严忠民, 乔晔, 2007. 河流鱼类栖息地水力学条件表征与评述[J]. 河海大学学报(自然科学版), 35(2): 125–129.
- 应强, 焦志斌, 2004. 丁坝水力学[M]. 北京: 海洋出版社: 5–10.
- 余国安, 王兆印, 张康, 等, 2008. 应用人工阶梯——深潭治理下切河流——吊嘎河的尝试[J]. 水力发电学报, 27(1): 85–89.
- 张光锦, 2009. 北运河生态健康评价及修复方法研究[D]. 天津: 天津大学: 48.
- 赵银军, 丁爱中, 2014. 河流地貌多样性内涵、分类及其主要修复内容[J]. 水电能源科学, 32(3): 167–170.
- Beisel J N, Usseglio-Polatera P, Thomas S, et al, 1998. Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of mesohabitat characteristics[J]. Hydrobiologia, 389(1): 73–88.
- Bona F, Falasco E, Fenoglio S, et al, 2008. Response of macroinvertebrate and diatom communities to human-induced physical alteration in mountain streams[J]. River Research and Applications, 24(8): 1068–1081.
- Boon P J, 1997. 河流保护与管理[M]. 宁远, 沈承珠, 谭炳卿, 等, 译. 北京: 中国科学技术出版社: 199.
- Cranz G, Boland M, 2003. The ecological park as an emerging type[J]. Places, 15(3): 44–47.
- Harrison S S C, Pretty J L, Shepherd D, et al, 2004. The effect of instream rehabilitation structure on macro invertebrates in lowland rivers[J]. Journal of Applied Ecology, 41(16): 1140–1154.
- Heino J, 2000. Lentic macroinvertebrate assemblage structure along gradients in spatial heterogeneity, habitat size and water chemistry[J]. Hydrobiologia, 418(1): 229–242.
- Kim K, Lasker H R, 1997. Flow-mediated resource competition in the suspension feeding gorgonian *Plexaura homomalla* (Esper)[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 215(1): 49–64.
- Leunda P M, Oscoz J, Miranda R, et al, 2009. Longitudinal and seasonal variation of the benthic macroinvertebrate community and biotic indices in an undisturbed Pyrenean river[J]. Ecological Indicators, 9(1): 52–63.
- Li F Q, Cai Q H, Fu X C, et al, 2009. Construction of habitat suitability models(HSMs) for benthic macroinvertebrate and their applications to instream environmental flows: A case study in Xiangxi River of Three Gorges Reservoir region, China[J]. Progress in Natural Science, 19(3): 359–367.
- McCarthy J H, Bailey B, Estabrooks W A, 1998. Benthic communities associated with carbonate rubble and adjacent soft sediments in a shallow coastal area of Oahu, Hawaii[J]. Pacific Science, 52(2): 141–150.
- Michael B, Frank J R, 2011. Assessing habitat requirements of Young Colorado River cutthroat trout by use of macrohabitat and microhabitat analyses[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 120(5): 571–581.
- Nakano D, Nagayama S, Kawaguchi Y, et al, 2008. River restoration for macroinvertebrate communities in low-land river: insights from restoration of the Shibetsu River, north Japan[J]. Landscape Ecol Eng, 4(1): 63–68.
- Nelson S M, Lieberman D M, 2002. The influence of flow and other environmental factors on benthic invertebrates in the Sacramento River, U. S. A[J]. Hydrobiologia, 489(1): 117–129.
- Nelson S M, 2011. Response of stream macroinvertebrate assemblages to erosion control structures in a wastewater dominated urban stream in the southwestern U. S[J]. Hydrobiologia, 663(1): 51–69.
- O'Neill M P, Abrahams A D, 1984. Objective identification of pools and riffles[J]. Water Resources Research, 20(20): 921–926.
- Patterson M R, Sebens K P, Olson R R, 1991. In situ measurements of flow effects on primary production and dark respiration in reef corals[J]. Limnology and Oceanography, 36(5): 936–948.
- Stalnaker C B, 1979. The use of habitat structure preferences for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat [C]//Ward J V, Stanford, J A. The ecology of regulated streams. London: Plenum Press, 321–337.
- Thomson J R, Taylor M P, Fryirs K A, et al, 2001. A geomorphological framework for river characterization and habitat assessment[J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 11(5): 373–389.
- Warren C E, 1979. Toward classification and rationale for watershed management and stream protection[R]. US Environmental Protection Agency Report. No. EPA-600/3-79–059.

**Review of River Microhabitat Improvement Technology by
Changing River Flow Conditions**

YU Lu-ji¹, LI Ting-mei^{2,3}, LI Yu-xian⁴, LI Xiao-lin^{2,3}, BO Yi-sheng^{2,3}, WANG Hui-ying^{2,3}

- (1. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, P. R. China;
- 2. Research Center for Environmental Policy Planning&Assessment of Zhengzhou University, Zhengzhou 450003, P. R. China;
- 3. Zhengzhou University Environmental Technology and Consultancy Co. Ltd., Zhengzhou 450003, P. R. China;
- 4. Xuchang Water Resources Planning and Design Institute, Xuchang 461000, P. R. China)

Abstract: The spatial distribution of aquatic organisms is affected synthetically by the biological and non-biological factors at different scales. Microhabitat of river plays important role in the survival and growth of aquatic organisms. So microhabitat improvement technology, as an important water ecological restoration measure, has significant meaning for improving the aquatic biodiversity, building complete river ecosystem structure and restoring the river health. In this study, we summarized the primary microhabitat improvement technology based on the analysis of the main factors affecting the river microhabitat. Here we emphasized the effect of velocity, water depth and substrate on river microhabitat and the corresponding improvement technology to regulate water flow includes the construction of spur dikes, building deep groove-shallow riffle and setting ecological weir/gravel group in rivers. The current problems existing in the application of the technology and the future development trends were also discussed. The study will provide theoretical and technical reference for river ecological controlling.

Key words: riverway; microhabitat; river flow regulation