

# Study on the Application of Live Water in Aquaculture

Rongfu Li<sup>1</sup>, Shouhong Wang<sup>2</sup>, Longsheng Sun<sup>3</sup>, Xiangming Kou<sup>2</sup>, Leiming Wu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yangzhou Society of Fisheries, Yangzhou Jiangsu

<sup>2</sup>Agricultural Science Institute of Jiangsu Lixiahe District, Yangzhou Jiangsu

<sup>3</sup>College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Email: 13615252160@163.com

Received: May 13<sup>th</sup>, 2019; accepted: May 27<sup>th</sup>, 2019; published: Jun. 5<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In this paper, the origin and scientific connotation of the concept of “living water” are verified and sublimated, and the ecological functions of “living water” such as exchange, transportation and purification are extracted. This paper summarizes the application value of “living water” in aquaculture from six aspects: enlarging aquaculture space, prolonging aquaculture time, improving feed efficiency, improving disease resistance, improving flavor and safety of aquatic products, and reducing aquaculture risk. It can improve aquaculture yield, product quality and safety, and improve comprehensive benefits of aquaculture. A series of system operation methods matching the application of “living water” were put forward: removing excessive sludge to consolidate the foundation of “living water”; selecting spacious aquaculture waters to design reasonable biological structure; using energy-saving methods to produce low-cost “living water”; using beneficial microorganisms to promote the “activity” of ecosystem; and rationally allocating “living water” manufacturing machinery to prevent feeding risks. In addition, this paper also studied seven issues that should be paid attention to aquaculture using “living water”.

## Keywords

Living Water, Ecological Function, Aquaculture, Application Value, Application Method

# “活水”在水产养殖中应用研究

李荣福<sup>1</sup>, 王守红<sup>2</sup>, 孙龙生<sup>3</sup>, 寇祥明<sup>2</sup>, 吴雷明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>扬州市水产学会, 江苏 扬州

<sup>2</sup>江苏里下河地区农业科学研究所, 江苏 扬州

<sup>3</sup>扬州大学动物科学与技术学院, 江苏 扬州

Email: 13615252160@163.com

收稿日期: 2019年5月13日; 录用日期: 2019年5月27日; 发布日期: 2019年6月5日

## 摘要

本文进一步考证了“活水”的由来,提升了“活水”的科学内涵,提炼了“活水”的交换、运送和净化等生态功能。总结了“活水”在水产养殖中六个方面的应用价值,包括:扩大养殖空间、延伸养殖时间、提高饲料效率、提升抗病能力、改善水产品风味与食用安全性和降低养殖风险等,进而提高养殖产量和产品质量安全,提升效益水平。提出了与“活水”相匹配的系统化养殖方法。包括:清除过多沉积淤泥,为制造“活水”打好基础;选择宽敞养殖水体,设计合理养殖结构;设计采用节能方法,制造廉价“活水”;借助微生物作用,提升生态系统“活性”;合理设置“活水”机械,防范养殖风险等应用“活水”提升养殖效益的系统方法。另外,还研究了采用“活水”养殖水产动物过程中应注意的七个问题。

## 关键词

活水,生态功能,水产养殖,应用价值,应用方法

Copyright © 2019 by author(s) 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. 引言

水产养殖业的根本目的在于,在单位养殖水体内,以尽可能少的物质消耗,生产出尽可能多的、符合社会需要的、价值较高的安全水产品。但是,随着水产养殖水平的提高,大量饵料、肥料、渔药等物质投入,带来大量有机废物沉积或溶解于养殖水体中,造成大量“氧债”累积[1],有毒有害物质增加和溶解氧供求矛盾激化,限制水体养殖容量[2],加大了“浮头”、“泛塘”和水产病害风险。“活水”作为微速循环流动状态和能量转换与物质循环处于活跃状态的水[3],有利于消除有毒有害物质,增加水体溶解氧,是水产动物最为喜欢的生活环境,因此,“活水”在水产养殖中具有巨大的应用价值。

## 2. “活水”理论的基本内容

### 2.1. “活水”的由来

《现代汉语词典》对“活水”的解释是有源头而常流动的水。在古代文献中,“活水”是指静流之水或有源头常流动的水。据汉朝王充《论衡·状留》注解:“活水,沙石不转;洋风,毛芥不动”[4]。在《吕氏春秋·尽数》有“流水不腐,户枢不蠹,动也”之说[5]。从以上文献中可以看出,在古代“活水”与流水具有相近的含义,但“活水”与流水的含义又有一定区别,“活水”虽有一定流速,但“沙石不转”,流速缓慢,是水质清澈的微速流水;既不是静水,也不是激流洪水。宋代理学家朱熹更有诗曰“问渠哪得清如许?为有源头活水来”[6]。因有“源头活水”才使“渠清如许”,所以,在我国古代就已经发现了“活水”具有净化污水的作用,具有“自动清洁”的生态功能。

### 2.2. “活水”的科学内涵

水是生命之源。在汉字解释中,“活”的本意是指有生命或保持运动的状态。“活水”引伸说来,则是指保持运动状态或旺盛生命活动的水。水的活力首先表现为运动性。一方面,是其外部的运动性,即水的流动性,从而与外界环境发生相互作用和影响。在上方,则表现为水体与大气和阳光等环境的相

互作用和影响；在下方及四周，则表现为水与土壤或岩石等周边环境的相互作用和影响。另一方面，是其内部的运动性，即水体内部的溶解物与溶解物之间、溶解物与生物之间、生物与生物之间的持续处于相互作用与转化的状态，水便成为多种溶解物和生物体相互作用、相互依存的载体。

从物理学角度，所谓“活水”是保持微速流动并带动其他物理变化的水体。这里的流动并非水平直线式的，既有水平流动，也有垂直流动，还有斜线流动；既有直线运动，也有曲线运动，还有循环运动。但是，“活水”流动从时间上来说，是持续均衡的；从速度上来说，是缓慢匀速的，即微速循环流动的[3]。水体的运动带动物质的溶解与挥发、沉淀与溶解，使水体与大气、水体与土壤或岩石之间进行着物质交换和能量转移及转换。而水体运动与大气、光照、温度和雨水等作用带动了水体颜色和透明度等物理特征的变化，并随季节、气候、气象等因素发生周期性或偶然性的变化。

从化学角度，所谓“活水”是持续进行化学反应的水体。即水中溶解的多种化学物质间相互作用，持续维持着化学反应过程。而要维持水体中化学反应的持续性，必须源源不断有新的化学物质向水中溶入(补充)与从水中析出(消耗或取出)，也就是水体必须持续不断与外界进行着物质交换，这个物质交换过程一旦停止，那么水中化学反应过程很快也就停止了，水就失去了化学意义上的活力和“生命”。

从生物学角度，所谓“活水”是能够维持多种微生物及其他水生生物生存并保持新陈代谢的水体。一是有能进行光合作用的植物(含浮游植物)，即生产者。在吸收太阳能的同时，利用水体溶解的营养成分转化为有机物(体)，并为水生动物和微生物提供食物和氧气。二是有依靠其他生物作为食物的动物，即消费者。在消耗着光合作用生成的植物和氧气，以及其他动物或微生物。三是有非光合作用类微生物，即分解者。分解利用动物的排泄物及生物尸体而繁衍转化，为水中植物(含浮游植物)提供营养成分。生产者、消费者和分解者共同构成了水体生态群落，并与非生物环境相互依赖，一起构成持续进行能量转换和物质循环的生态系统。

“活水”的物理、化学和生物学过程是相互作用、相互影响的，是理、化、生复合交叉的综合过程。在“活水”系统中，生产者、消费者和分解者相互作用、相互依赖的生命过程，带动了水中溶解物(含氧气)、水体颜色和透明度的物理变化和与周边环境的物质交换，又影响了水体中化学反应的内容、过程、速度和酸碱平衡。同样在“活水”系统中，物理状态的水中溶解物(含氧气)浓度、水体颜色和透明度变化是水体化学反应过程和生物学过程的外在表现，其实质是水中化学反应所引发的化学物质组成与浓度的变化，以及微生物和浮游生物等生物品种构成、数量消长、沉浮和密度的变化。还是在“活水”系统中，化学反应状态一方面是由“活水”物理过程所引起的化学物质构成和浓度的变化所决定，另一方面又由不同生物构成和生物的新陈代谢速度所影响。作为物理作用的水流，既可以是雨雪风暴、地形地貌等自然因素引发，也可以装备机械设备的人工因素推动，影响着“大气-水体”、“水体-土壤”双界面的物质交换，使气体、矿物质和微量元素等持续不断溶入水中，推动着化学反应进程。同时，流入的水不断接入新的生物，“活水”中多样性生物的综合作用，不断进行着化合与分解，产能与耗能或贮能，耗氧与增氧等理化反应，实现着水域生态系统物质循环和能量转换，使水域生态系统保持持续变化的稳定状态。

### 2.3. “活水”的生态功能

“活水”既可以是自然形成的，也可以是人工产生的。而在养殖水体中只能由人工产生。本世纪以来开发应用的活水机(也称耕水机)，以极小的能源(数十瓦到近百瓦)消耗产生了微速循环流水，从而可以在整个生产季节持续在养殖水体保持“活水”状态，为水产养殖业带来了观念更新和一场技术革命。

#### 2.3.1. “活水”的交换功能

流水作为“活水”的物理状态，其实质是促进水体与其他环境的物质交换过程。包括：一方面在水

体之上的“大气-水体”界面，水与大气接触实现了氧气溶解和有毒有害废气逸出的双向交流，实现了“吐故纳新”，为养殖水体发挥“解毒”作用；另一方面在水体之下及其四周的“水体-土壤”界面，水与水底及周边的土壤接触，实现了土壤中大量化学物质溶解于水，补充水体中溶解物，同时水中溶解气体及水中其他物质向土壤中渗透，也实现了物质交换。在此过程中，大气中氧气持续并加速溶解于水，所以在大江大河等流动水体中水生动物从来不会因缺氧而死亡。同时，流水又使水体不断进行物质交换和形态转换，使水体保持生机和活力。尤其是高产静水养殖池塘中，大量水产动物未利用的残饵、排泄物和生物尸体沉积在池底成为大量“氧债”累积和病原体“培养基”，远离池塘生态系统的物质循环，成为池塘养殖的主要隐患和风险。“活水”的持续作用使池塘残饵、排泄物和生物尸体等产生后即加入物质交换，避免沉积成淤泥而大量积累成“氧债”风险和疾病隐患。

### 2.3.2. “活水”的运送功能

水体中浮游植物、细菌、真菌等微生物及植物等生物都没有运动能力，它们获取营养的方式只能“守株待兔”，被动等待。而“活水”将处于静止状态的微生物运送到水体各个方位，变静物为“动物”，化被动为“主动”，使微生物可以在全水面、全水层获得营养，并发挥净化作用。同时，“活水”还使沉淀于水体下层、底层及底泥中的有机物及无机营养物质源源不断运送到光合作用最为强烈的水体上层，供浮游植物和浮游动物等生物所利用，从而提高水体初级生产力，并为水体增加溶解氧[3]。另外，“活水”所形成的微速水流，加速了水体中物质扩散、溶解和均匀分布，尤其是溶解氧和水温的均匀分布，并扩散到水体底层，既有利于扩大水体养殖空间，又能促使有机物氧化还原反应在全水体进行，尤其是也能在水底持续进行，加速了水体中物质转化和能量传递与转换。

### 2.3.3. “活水”的净化功能

实验室加快化学反应完成的方法是通过玻璃棒的不断搅动或烧杯的持续摇晃，来实现参与化学反应的不同物质尽早相遇和增加相遇的机率。现行处理城乡有机物污水的化学方法主要是曝气法，生化方法主要是微生物法。曝气法主要是利用氧气对污水中的有机物氧化还原，可以较为彻底降解污水中的有机物，但速度较慢。微生物法是通过微生物分解催化酶分解有机物，速度较快、效率较高，如果在氧气不足的情况下，该分解过程不能彻底进行，主要以还原态的物质存在，这便是养殖水体中“即时氧债”[1][7]，一旦水体垂直对流，便呈现爆炸性的瞬时耗氧，这是水产养殖业最大的风险。借助于“活水”中丰富的溶氧和运送功能，通过人工加入微生态制剂，促进污水中有机物与溶解氧和有益微生物在水体中全方位相遇与相聚，这个“相遇与相聚”是实现生化反应过程，需要有机物、溶解氧和有益微生物三者之间充分、完全和频繁的接触，并非一蹴而就，而是一个相对缓慢的化学反应过程。即必须有一定的接触面积和接触时间来完成此类化学反应过程，并且当一次相遇没有能完成这个反应时，必须增加接触频率，再次或数次推动这三者的重新相逢，保证有机物完全彻底降解，又提高降解速度，避免水体中“氧债”累积，持续为养殖水体中浮游植物和水生植物提供肥源(N、P、K)和碳源(CO<sub>2</sub>)。因此，“活水”使养殖水体中水生生物的生命过程和化学过程更加活跃，新陈代谢更加旺盛。

## 3. “活水”在水产养殖中的应用价值

水体溶解氧是养殖水质的核心指标，溶解氧水平高低是养殖水质好坏的主要标志。在常态下，养殖水体中溶解氧贮存量大小决定了水体养殖容量和抵御“浮头、泛塘”风险的能力，决定了水产养殖水平和经济效益的高低。

### 3.1. “活水”扩大了养殖空间

氧气作为气体状态的物质，比重远小于水，氧气和水的比重差异决定了“氧往高处走，水往低处流”



[8], 因此, 一般晴日在静态养殖水体中, 水中溶解氧主要分布在水体中上层。另一方面, 在水产养殖季节, 养殖水体的透明度较低, 水生植物(含浮游植物)的光合作用只是在水体上层进行, 产生的氧气也主要停留在水体中上层。“活水”的运送作用, 将这些水体中上层的溶解氧运送到水体的全水层、全方位, 水产动物便可以便可全水体栖息、摄食和生长, 从而使水体养殖空间扩大了 1/3 至 1 倍以上, 显著提高了水体养殖容量。南美白对虾使用耕水养殖实例表明, “活水”能有效分解沉积的残饵、排泄物、蜕壳、淤泥和腐败藻类等有害物质, 改善底质, 激活底泥的生态功能; 从而改变水体底层缺氧状况, 使整个水体溶氧量提高 20%以上[9]。笔者进行的“活水”养殖河豚试验结果表明, 水体上层溶解氧平均为 6.02 mg/L, 但水体溶解氧分布均匀, 上层与底层一致性高, 叶轮增氧机水体上层平均溶氧为 6.79 mg/L, 上层与底层含量悬殊; 并且因“活水”养殖的水体夜晚毋须偿还“氧债”, 全天溶解氧含量波动幅度小, 试验池全天溶解氧含量 4.42~8.89 mg/L 之间波动, 而对照塘为 4.27~12.69 mg/L 之间波动。海南省水产技术推广站进行的“活水”养殖罗非鱼试验结果与笔者试验结果一致, 试验池溶解氧含量为 3.94~5.88 mg/L, 对照塘溶解氧含量为 2.98~7.73 mg/L, 试验池比对照池溶解氧含量更为稳定[10]。

### 3.2. “活水”延伸了养殖时间

阴雨天气光照弱、溶解氧来源少, 水产动物或停止摄食或降低摄食量, 严重影响生长。在高产水体养殖后期, 由于水产品存塘量高, 投喂量大, 到后半夜或凌晨, 养殖水体贮存的溶解氧已消耗殆尽, 处于缺氧或低氧状态。据有关资料, 在长江中下游地区阴雨天约占全年总天数的 35%左右。而水产养殖季节后半期(8~10 月), 高产养殖水体后半夜至清晨的低溶解氧历时约 5 小时, 约为全天的 20%左右, 以全生产期计算, 约占 10%左右。以上两项合计, 并去除阴雨天夜间重叠部分, 在养殖季节约有 40%左右的时间不宜水产动物摄食生长。“活水”可实现养殖水体全时段、全天候养殖, 延伸了上述 40%左右的养殖时间。首先, “活水”扩大了水体溶解氧来源。“活水”促进了空气与水体的相互作用, 促进氧气向水体中溶解, 具有一定的增氧作用; 同时“活水”有利于提高养殖水体有机物降解效率, 促进无机营养盐释放, 在化解“氧债”的同时, 实现了“均衡施肥”, 同时, 还将有机物及时转化为碳源(CO<sub>2</sub>), 优化了碳氮比(C/N), 有利于提高了浮游植物的光合作用效率, 增加了水体溶解氧产生量。其次, “活水”增加了水体溶解氧的库存量。“活水”的运送扩散作用, 在将水体底层“氧债”及时偿还的同时[3], 又使晴日光合作用产生的溶解氧不仅贮存在水体中上层, 而且运送贮存到水体下层和底层, 使养殖水体溶解氧库存量比一般养殖水体增加了 50%以上。第三, “活水”减少了溶解氧浪费。“活水”使晴日天气在水体中上层“滞留”或“逸出”的溶解氧及时送达急需溶解氧的水体下层和底层, 一是可以提供给在底层栖息的水产动物呼吸, 二是及时偿还“氧债”, 三是贮存起来以应夜晚光合作用停止时或阴雨天气光合作用效率降低时的“不时之需”, 从而减少了晴天表层溶解氧因处于过饱和状态而“逸出”造成的浪费。笔者采用“活水”养殖河豚水体上层溶解氧含量虽然白天低于对照池, 但在夜间却明显高于对照池, 有利于水产动物夜间摄食生长。海南省水产技术推广站“活水”养殖罗非鱼试验结论与笔者一致: 在夜间 24:00 之前, 对照池溶解氧高于试验池, 在 24:00 左右产生了剪刀差, 试验池开始高于对照池, 到黎明时分, 试验池溶氧比对照池高出 0.96 mg/L。因此, 在正常天气状况下, “活水”可以使养殖水体在夜间至凌晨也能保持较高的溶解氧水平, 让水产动物也能在这段时间正常摄食和生长。即便是阴雨天气, 由于没有“氧债”积累, 养殖水体贮存的溶解氧仍能在 1~2 个阴雨天使养殖水体维持较高的溶氧水平, 从而使水产养殖动物不仅在白天正常摄食生长, 而且在夜间和较短的阴雨日期间也能保持正常摄食生长, 延伸了水产养殖时间, “活水”养殖使水产动物在同样养殖天数内增加了约 40%的摄食生长时间, 有利于提高水产品养成规格和养殖产量。

### 3.3. “活水”提高了饲料效率

水产养殖饲料利用效率与养殖水体溶解氧水平密切相关,养殖水体溶解氧水平对促进水产动物摄食,提高饲料利用率,加速水产动物生长具有极为显著的影响。有研究表明,当水中溶氧量长期处于 1~3 mg/L 时,鱼类很少摄食,生长基本停止。当水中溶氧由 3 mg/L 降低到 4 mg/L 时,鱼类饵料消耗减少一半;当水中溶氧达 4.5 mg/L 以上时,鱼虾食欲明显增强;当水中溶氧达 5 mg/L 以上时,饵料系数为最低值。当水体溶氧由 4 mg/L 提高到 7 mg/L 时,鱼类生长速度提高了 20%~30%,而饵料系数降低了 30%~50% [11]。日本研究也表明,当溶解氧从 2 mg/L 提高到 4.1 mg/L 时,鲤鱼摄食率提高了 1.5 倍,饵料利用率提高了 3 倍,增重率提高了近 1 倍 [7]。鉴于“活水”能够全方位、全时段、全天候提高了水体溶解氧水平,显然对提高饲料效率具有重要作用。笔者等 2010~2011 年“活水”养殖罗氏沼虾的试验表明,2010 年试验塘饵料系数 1.24,对照塘 1.41,试验塘比对照塘饵料系数降低 0.17,饲料效率提高了 12.1%;2011 年试验塘饵料系数为 1.20,对照塘 1.40,试验塘比对照塘降低 0.20,饲料效率提高了 16.7% [12]。另据 2016 年“活水”在河豚养殖中应用,试验池饵料系数为 1.61,比对照池降低 0.15,采用“活水”养殖河豚的饲料效率比应用叶轮增氧机养殖提高 10.3% [8]。南美白对虾使用耕水机养殖实例表明,“活水”还能促进水体中有益藻类和浮游生物的繁殖生长,增加天然饵料,节约人工投饵 15%以上 [9]。桂花鱼(鳊鱼)使用耕水机养殖实例表明,“活水”改善水质,在苗种放养、养殖周期和投饵等相同养殖条件下,桂花鱼(鳊鱼)吃料正常,生长速度更快,节约饲料近 5%,产量提高 14%,净利润比对照塘增加 18,500 元 [13]。“活水”养殖罗非鱼饵料系数塘降低了 0.29,日增重提高了 12.1%,成活率提高了 1.98%,产量提高了 65.96 kg/亩 [10]。

### 3.4. “活水”提升了抗病能力

中国传统水产养殖在强调“养鱼先养水”,“养水”应做到“肥、活、嫩、爽”,尤其强调水质要“活”。而“活水”正是一切水生动物所喜欢栖息的生活环境,在自然“活水”中,人们难以发现水产动物染上病害。这是由于水产动物病原体不适宜在“活水”环境生存和繁衍,而水产动物在“活水”状态下新陈代谢最为旺盛状态,即便存在病原体,这些健康的水产动物也不易被其侵袭而染病 [14]。而当鱼类长期处于溶氧 1~3 mg/L 时,基本停止摄食,生长速度减慢,抗病能力下降,易发生鱼病和死亡。因此,笔者采用“活水”养殖罗氏沼虾和河豚试验过程中均未发生病害。南美白对虾使用耕水机养殖实例表明,“活水”能有效地降低或消除水体中的氨氮、亚硝酸盐、硫化氢等有毒有害物质,减轻这些物质对水产动物的毒害,减少发病 [9]。海南省水产技术推广站进行的“耕水机在花鳊池塘养殖中的应用试验”证明,其“活水”养殖花鳊模式与传统养殖方式相比,养殖废水的 COD (化学需氧量)可下降在 20 mg/L、BOD (生化需氧量)在 6 mg/L 以下;DO (溶解氧)增加 15%以上,比对照高出 1.0 毫克/升,具有节能、提高饵料利用率,减少病害发生,保护生态环境、提高养殖效益等特点 [15]。南美白对虾使用耕水养殖实例也说明,“活水”能有效地促进水体循环,消除水体中溶解氧、温度和盐度分层,稳定水质,减少应激反应,有利虾类健康成长 [9]。桂花鱼(鳊鱼)使用耕水机养殖实例表明,“活水”“流水不腐”打破了水体分层,活化底质,使整个水体载氧量增加,有害物质大大降低,从而使桂花鱼(鳊鱼)的发病率降低,药物投放量大大降低,对比对比塘,耕水机塘药费节约 60% [13]。原农业部农业机械化技术开发推广总站“应用耕水机养殖南美白对虾试验”中“活水”养殖的南美白对虾也未发病,并提高了养殖效益 [16]。

### 3.5. “活水”改善了水产品风味和安全性

水产品价格除因品种差异外,主要由其风味和安全性决定。首先是安全性。水产品安全性直接关系消费者的身体健康和生命安全,国家禁止一切药物残留超标的水产品上市销售,所以,水产品安全性是

其能否上市销售的基本前提,也是消费者对水产品的第一选项,因此有机水产品销售价格往往远高于一般水产品。“活水”中养殖的水产动物生命活动处于旺盛状态,快速健康成长,减少了发病,降低了渔用药物使用量,防范了水产品中药物残留风险,提高水产品安全水平。其次是特殊风味。水产品风味取决于出产水体水质状况和饵料来源,其中最主要的是水体水质。一般高产养殖水体出产的水产品往往都有“土腥味”[17]。这主要是高产养殖水体中大量有机物或残留于池底,成为黑臭的淤泥,或在低溶解氧情况下不完全降解,形成大量  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{NH}_3$  等有毒有害物质积存于水体中,并部分转移到水产动物体内,而形成“土腥味”。所以,水产品价格往往是“海鲜”胜过“江鲜”,“江鲜”又高于“湖鲜”,野生水产品价格又高于高产养殖水体出产的水产品。而“活水”营造了养殖水体的微速循环流动状态,加速了有机物降解,保持了溶解氧高水平,从而消除或降低了水体中  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{NH}_3$  等有毒有害物质积存,水质保持清新活跃状态,从而使出产的水产品近似于天然水产品风味。水产品风味改善和安全性提高,有利于提高销售价格和经济效益。

### 3.6. “活水”降低了养殖风险

水产养殖最大风险来自于“氧债”。突发性的寒潮、台风和雷阵雨等天气,使养殖水体上下水层快速对流,带来长期积累在水体底部的大量“氧债”快速偿还,使养殖水体中溶解氧在短时间内消耗殆尽,带来水产动物“浮头”、“泛塘”而大批量死亡。因此,养殖水体“氧债”在自然状态下的偿还过程具有突然性和爆发性,并且,“氧债”偿还主要发生于深夜至凌晨和阴雨天,尤其是雷阵雨等强对流天气后,往往难以及时发现,使“氧债”形成的风险具有隐蔽性,造成的危害具有突发性[1]。重要的是,“活水”养殖水体持续保持微速循环流水状态能带动池底沉积有机物降解,消除“氧债”隐患,并从而源源不断为浮游植物供给配比合理、数量稳定的养分和碳源( $\text{CO}_2$ ),使整个养殖周期水体中浮游植物种类和数量较为稳定。避免了因养分和碳源供给不及时带来浮游植物衰减或死亡,造成藻相突变甚至“倒藻”,引发水产动物发病或“泛塘”死虾。海南省水产技术推广站“耕水机在罗非鱼精养池塘的应用效果”表明,“活水”不仅有助于增加池塘底层水的溶氧水平,促进池底有机物的氧化分解,而且可将富含氨氮、亚硝酸盐氮和二氧化碳等有害物质的底层水对流到池塘表层,供浮游植物光合作用所吸收利用,对改善池塘水质具有积极作用。与对照池塘相比,试验池塘化学耗氧量平均降低了 1.56 mg/L,总悬浮物含量平均下降了 24.30 mg/L,氨氮浓度平均下降了 0.24 mg/L,亚硝酸盐含量平均下降了 0.0718 mg/L;从而有利于减少发病风险和“浮头”、“泛塘”风险[10]。

综上所述,“活水”扩大了养殖空间,延伸了养殖时间,提高了饲料效率,提升了抗病能力,改善了产品风味和安全性,降低了养殖风险,从而提升了水体养殖性能(容量),有利于减少药物使用,降低生产成本和药物残留,提高水产养殖产量和产品质量安全,提升效益水平。笔者 2011 年罗氏沼虾“活水”养殖试验塘平均产值 9238 元/亩,比对照塘多 1437 元,增收 18.4%;平均效益 3913.7 元/亩,比对照塘提高 73.1% [12]。2016 年河豚“活水”养殖试验塘公斤鱼成本为 37.53 元/kg,比对照池降低 4.33 元/kg,节本 10.34%。试验塘平均亩产值 50,284 元,比对照池增加 5354 元,增加 11.92%;试验池实现亩净利润 26,874 元,比对照池增加 5635 元,增加 26.53% [8]。农业部农业机械化技术开发推广总站“应用耕水机养殖南美白对虾试验”与应用水车式增氧机进行对比试验,结果表明,“活水”养殖南美白对虾试验塘节约耗电量 56.9%、节省饵料 15.5%、节省药费 45.4%;提高单位面积产量 20.1%。试验塘亩均纯收入为 4501 元,比对照塘亩均纯收入 1531 元提高 2970 元,提高了 1.98 倍[16]。因此,“活水”在水产养殖中具有极高的应用价值和广阔的应用前景。

## 4. “活水”在水产养殖中的应用方法

养殖水质调控的根本方法和最终目标在于培养“活水”,消除“氧债”,从而根本上解决溶解氧的



瓶颈问题,促进水产动物健康快速成长,降低生产成本和能源消耗,提高产品质量安全,提升养殖经济效益。

#### 4.1. 清除过多沉积淤泥,为制造“活水”打好基础

现行水产养殖方式都是高投入、高产出、高风险的生产方式,每年都会有大量残饵、粪便及生物尸体等有机物沉积水底化为淤泥,成为养殖水体中“氧债”的主要来源和“浮头”、“泛塘”事故的根源。如果数年不清塘,淤泥便会大量沉积,在生产季节使养殖水体长期处于缺氧或低氧状态,这种高度富营养化水质,甚至是劣V类的黑臭水体,是不适宜大部分水生生物生存,制造“活水”便失去了意义。因此,经多年养殖的池塘等水体,一是要彻底清淤。通过冬春养殖休闲季节挖除多年有机物积存积淀的淤泥;二是冬闲的养殖水体及时排干水体,经深层耕翻后,或再经“风吹、日晒、夜冻”,使塘底淤泥中有机物充分氧化还原。三是使用氧化消毒剂。如使用生石灰、漂白粉、强氯精、二氧化氯等具有强氧化作用的消毒剂,使底泥中的有机物迅速氧化。以上几项措施,可以避免淤泥中有机物沉积在养殖过程中耗氧,而减少“总氧债”[1]。这是制造“活水”,科学调控养殖水质的首要措施。

#### 4.2. 设计采用节能方法,制造廉价“活水”

工厂化流水养殖或大量配置增氧机械都能造就“活水”,解决养殖水体中溶解氧瓶颈问题,提高单位水体水产养殖容量和经济效益。但这两种情形都会带来高耗能、高成本,不适合中国国情和世界水产养殖业发展趋势。只有在低耗能情况下形成物理态“活水”(微速循环流水),才能在我国乃至世界范围内广泛推广应用。这必须根据水这种特殊液体的流体力学特征,选择简易节能的机械方法来制造“活水”。水作为一类典型液体(流体),具有以下物理特征。一是惯性大。水的密度是空气密度的772倍,水一旦处于运动状态便蕴藏着丰富的动能,拥有巨大的惯性,所以,江河进入平原仍然滚滚向前,洪水胜似猛兽,海啸摧古拉朽。二是摩擦力小。运动中的水不会因为分子之间的摩擦而大量耗能,能够保持持续运动状态。航行在大海中的船舶,撤去动力后仍可以航行数公里或数十公里。三是可塑性强。流动中的水当遇到障碍物时,并不会象固体那样停止运动,而是改变方向后继续向前。四是慢速流动的水能量不易衰减。液体只有当超过一定速度时,才会产生“湍流”,造成额外的能量损耗。所以,尽管当今世界科技日新月异,正是由于水的上述流体力学特征,决定了河运、海运等水上运输仍然是当今最为经济的运输方式。新型活水机(也称耕水机),通过加大划水量,降低划水速度,才能以极低的能耗,制造了物理状态的持续“活水(微速循环流动水流)”,带动了养殖水体的其他物理、化学和生物过程,使养殖水体成为保持运动状态和旺盛生命活动的“活水”。

#### 4.3. 选择宽敞养殖水体,设计合理养殖结构

“活水”应用于水产养殖在于解决养殖水体底层缺氧,消除“氧债”,避免“浮头”、“泛塘”给水产养殖带来风险。“活水”的关键在于持续保持养殖水体的微速循环流动状态。如果水体空间过于狭小,或养殖水体中存在许多障碍物,便使在微速循环流动的“活水”不断遇到阻力,而归于停滞,养殖水体便难以持续维持“活水”状态。在这类水体中若要保持“活水”状态,则需消耗过多的能源。所以,采用“活水”养殖的水体必须是水域空间较大、并且是没有障碍物的宽敞型养殖水体。同时,为发挥“活水”状态下底层溶解氧较高的优势,应该特别选择那些经济价值较高的底栖型海、淡水养殖鱼类、虾类、贝类、蟹类、龟鳖类等,如鳊鱼、黄颡鱼、罗氏沼虾、南美白对虾、长江鲴鱼、河豚等等中高档水产动物。所以,在必须种植水草或设置网片等影响水体流动的栖息物、养殖河蟹、青虾、小龙虾等品种的养殖水体环境中不宜采用“活水”方式的。



#### 4.4. 借助微生物作用，提升生态活性

浮游植物和有益菌在养殖水体物质转化和能量转换的生态循环中发挥着极其重要的作用。天然水体有机物输入少，生物密度低，多样性好，能够实现自我净化，维持动态平衡。而养殖水体作为人工生态系统，生物品种少，各类投入品种多、强度大，人工干预程度高，生态稳定性差。必须发挥微生物在水体物质循环和能量转换中的关键作用，才能保障水产养殖生态系统处于高效运转状态。因此，在养殖水体中应该及时补充衰减消亡后的浮游植物和有益菌等两类微生物，以保持其在养殖水体中较高密度和较强活力。一方面可以通过及时注水、换水等措施实现浮游植物的品种更新和新老交替，也可使用专用单细胞藻，补充数量，更新品种。微生态制剂使用方法现已基本成熟，主要是通过选择性使用芽胞杆菌、乳酸菌、光合细菌、酵母菌、放线菌等有益菌，使养殖水体有益菌达到较高密度，迅速完成养殖水体中有机物降解，防止有机物沉积造成“氧债”积存。由于微生物没有运动能力，只能依靠水体的运动实现位置转移。要提高微生态制剂应用效果，必须依赖微速循环流水状态的“活水”，使有益菌源源不断获得有机物和溶氧的补充，充分而“主动”地发挥净化水质的作用[3] [8]。所以，微生态制剂实现净化水质的最佳效能和最优效果有赖于“活水”对有机物和溶氧源源不断的输送。

#### 4.5. 合理设置“活水”机械，防范养殖风险

据试验，一般 60~90 瓦左右的活水器(也称耕水器)可负载养殖水面 5~8 亩左右，水体形状以正方形或圆形为最好，水体深度以 1.5~2.5 米为宜，从而有足够的空间，以利于最大限度的发挥活水机的“活水”功能，实现全水体(全水面、全水层)微速循环流水状态，将表层丰富的溶氧带到底层，又将底层丰富的有机物运送到上层、表层，从而使长期沉积在水底和淤泥中的有机物迅速“氧化还原” [3]。所以，如果是数年不清淤泥的养殖水体中初次使用活水器(也称耕水器)，在使用“活水”机械的最初一段时期(5~7 天内)，便会将积压数年的“氧债”在此期间加速偿还，无疑会迅速增加耗氧，使养殖水域中溶解氧处于“入不付出”的状态，极易出现“浮头”或“泛塘”。处置上述情况的方法，一种是在连续开启活水器(也称耕水器)的同时，连续 5~7 天全天 24 小时开启增氧机械，补充因“氧债”加速偿还所带来的溶解氧不足；另一种是在连续开启活水器(也称耕水器)的同时，在第 1 和第 3、第 5 天隔天加量使用化学增氧剂，如“颗粒氧”和双氧水等，迅速消化长期积累的“氧债”，防泛“活水”机(也称耕水器)初期使用风险。如果是新建设或刚刚清淤后的养殖水体，则无须进行上述操作。

### 5. “活水”应用于水产养殖应注意的问题

#### 5.1. 应选择宽敞并规则形养殖水体

“活水”的外在物理特征在于水体循环流动性。狭小的空间和形状不规则的养殖水体，容易给循环流动中的水增添阻力，并易形成死角，增加“活水”的能源消耗，影响“活水”的效果。因此，圆形、正方形及长方形，并且水深较大的养殖水体，将活水器(也称耕水器)设置在水体中心更能发挥效用。

#### 5.2. 选择的养殖水体中不得有障碍物

养殖水体水底应保持平整或呈锅底形，不应有沟、埂(坎)等存在，以免阻挡水流或形成死角，影响“活水”效果。同时，养殖水体不得长有水草、设置网片等障碍物存在，以防阻挡水流，增加“活水”耗能。

#### 5.3. 活水器应连续不间断开启

“活水”最关键的作用时间是白天，“活水”最重要的功能是消除“氧债”累积。只有在白天连续

开启活水机(也称耕水机),才能够提高水体底层溶解氧、及时偿还“氧债”,增加养殖水体溶解氧贮存量,减少表层溶解氧逸出浪费。同时,活水机也具有一定的辅助增氧作用。因此,活水机应24时连续不间断开启。如连续阴雨天气,也可在夜间停机,但切不可在白天停机。

#### 5.4. 应选择养殖底栖型高档水产品

“活水”能增加水体底层溶解氧且持续保持较高水来,特别适用于虾蟹贝类和底层名贵鱼类养殖,并且由于活水机结构复杂、售价较高,一次性投资较大,因此,活水机应当用于生猛海鲜等高档水产品养殖。

#### 5.5. 多年未清淤养殖水体应先行消除累积的“氧债”

多年未清淤的养殖水体,在使用活水机的初期会加速“氧债”偿还,必然加大养殖水体在短时间的耗氧,如不及时加大补充增氧,易引发“浮头”或“泛塘”事故。因此,淤泥较深的养殖水体在使用活水机的初期,应该连续开启增氧机械或使用化学增氧剂,以防范使用活水机(也称耕水机)初期加速偿还“氧债”的风险。

#### 5.6. 阴雨天气及时补充增氧

活水机(也称耕水机)动力小,仅有辅助增氧作用。阴雨天气光照强度低,水生植物(主要是浮游植物)的光合作用弱,产生的氧气仅勉强能够供给水产动物白天呼吸之用,夜晚则须消耗水体中贮存的溶解氧,一般持续开启活水机的养殖水体贮存的溶解氧一般可供2~3个夜晚消耗。因此,应安装带增氧功能的增氧活水机,在阴雨天夜晚只须开启增氧活水机上的微孔增氧设备,就可补充阴雨天溶氧不足。如安装的是单一活水机养殖水体,如遇连续阴雨时间较长,且暴雨又造成了水质浑浊,应使用化学增氧剂补充增氧,或使用石灰或明矾澄清水质,提高光合作用效能,增加溶解氧来源。

#### 5.7. 微生态制剂必须在晴天白天使用

使用微生态制剂能加速养殖水体有机物降解。微生态制剂中有益菌大多是好氧菌或兼性菌,使用后都须大量消耗氧气,因此应该在水生植物(主要是浮游植物)光合作用强烈、溶解氧供应充足的晴天白天时使用。切忌在夜晚或阴雨天气使用,以免因增加养殖水体耗氧造成“浮头”、“泛塘”事故。

### 6. 结语

综上所述,“活水”是水体保持微速循环流动、化学反应持续进行和生命代谢旺盛进行的水。在养殖“活水”中有机物处于不断产生和不断降解中,“氧债”也在不断产生和及时偿还中,水体中的N、P和C等营养物不断消耗和持续补充中,溶解氧的产生和消耗处于动态平衡状态,有毒有害物质虽偶有产生又快速消除,水质保持良好稳定状态,有利于水产动物快速健康成长,实现了水产养殖生态系统的良性循环。同时,“活水”养殖水产动物,降低了生产成本,提高了养殖产量、质量和效益,消除了水产养殖的“氧债”风险,预防或降低了“病害”风险,是可持续的绿色发展方式。另外,“活水”养殖降低了能源消耗和有机物沉积带来的污染,减少了养殖尾水排放,实现了节能减排,有利于保护农村生态环境,对生态文明建设具有重要作用。

### 基金项目

江苏省渔业科技项目(Y2018-11);江苏省重点研发计划(社会发展)(BE2017688)。

## 参考文献

- [1] 李荣福. “氧债”基本理论与养殖水质调控[J]. 海洋科学前沿, 2018, 5(1): 1-8.
- [2] 水产辞典编辑委员会. 水产辞典[M]. 上海: 上海辞书出版社, 2007.
- [3] 李荣福. 活水基本理论与养殖水质调控[J]. 水产研究, 2018, 5(2): 21-29.
- [4] 王充. 论衡. 诸子集成[M]. 长沙: 岳麓书社, 1996.
- [5] 时习之. 存利去害颐养天年——解读《吕氏春秋·尽数》的养生思想[J]. 现代养生, 2008(10): 18-21.
- [6] 陈琳. 半亩方塘考辨[J]. 艺苑, 2017(s1): 29-31.
- [7] 王武. 鱼类增养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [8] 李荣福, 郭正龙, 等. 微生态制剂与增氧活水机配合应用于河豚养殖增产机理的研究[J]. 水污染及处理, 2018, 1(6): 24-37.
- [9] 蔡敏强, 林伟生, 甘文燕, 等. 南美白对虾使用耕水机养殖实例[J]. 海洋与渔业, 2009(3): 51-52.
- [10] 程儒仿, 李丹萍. 耕水机在罗非鱼精养池塘的应用效果分析[J]. 淡水渔业, 2011, 41(5): 68-73.
- [11] 徐金传, 易翀. 溶氧决定池塘产量效益[J]. 渔业致富指南, 2009(13): 29-30.
- [12] 李荣福, 杨显祥, 孙龙生, 等. 耕水机在罗氏沼虾池塘养殖中的使用效果[J]. 渔业现代化, 2012, 39(5): 32-37.
- [13] 蔡敏强, 林伟生, 牟园园, 等. 桂花鱼使用耕水机养殖实例[J]. 海洋与渔业, 2009(2): 52-53.
- [14] 汪建国. 鱼病学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [15] 郑冠雄, 陈贻仲, 陈光炬. 耕水机在花鳗池塘养殖中的应用试验[J]. 海洋与渔业, 2008(10): 53-54.
- [16] 丁翔文, 张树阁, 孙新超, 等. 应用耕水机养殖南美白对虾试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 130-135.
- [17] 李荣福, 张家宏. 增氧活水机在池塘养殖中的推广应用[J]. 江苏省水产三新工程项目验收材料, 2015(7): 15-38.

### 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: 2373-1443, 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: [ojfr@hanspub.org](mailto:ojfr@hanspub.org)