

Basic Theory of “Dissolved Oxygen Production and Consumption Difference” and Regulation of Aquaculture Water Quality

Rongfu Li

Yangzhou Society of Fisheries, Yangzhou Jiangsu
Email: lrf62@163.com

Received: Feb. 27th, 2018; accepted: Mar. 14th, 2018; published: Mar. 21st, 2018

Abstract

In this paper, the scientific connotation of “dissolved oxygen production and consumption difference” is proposed for the first time. The three reasons for “dissolved oxygen production and consumption difference” are analyzed in depth. The long-term accumulation of organic matter, the supply and consumption of dissolved oxygen are not consistent in space, and the supply and consumption of dissolved oxygen are inconsistent in time. The basic characteristics and change rules of the distribution of “dissolved oxygen production and consumption difference” in time and space are summarized. The positive and negative effects of “dissolved oxygen production and consumption difference” in aquaculture were analyzed. According to the change law of “the difference of dissolved oxygen production and consumption”, the method of scientific regulation and control of the water quality is put forward.

Keywords

Oxygen Debt, Cause, Effect, Water Quality Control

“氧债”基本理论与养殖水质调控

李荣福

扬州市水产学会, 江苏 扬州
Email: lrf62@163.com

收稿日期: 2018年2月27日; 录用日期: 2018年3月14日; 发布日期: 2018年3月21日

文章引用: 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.
DOI: 10.12677/ams.2018.51001

摘要

本文全面提出了“氧债”的科学内涵，总结了“氧债”产生的三大原因，即有机物长期沉积、溶解氧供给与消耗在空间上的不同位和在时间上的不同步。总结了“氧债”分布在时间上、空间上的表现以及变化规律的基本特点；分析了“氧债”在水产养殖过程中的正面作用和负面影响；提出了遵循“氧债”规律调控养殖水质的科学方法。

关键词

氧债，产生原因，影响，水质调控

Copyright © 2018 by author 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

溶解氧是限制单位养殖水体产出的关键因子，是养殖水质调控的核心要素。溶解氧不仅直接影响水生生物新陈代谢水平，而且影响其他养殖水质因子的变化，是养殖水质的核心指标。追求高效安全与溶解氧供给不足是水产养殖过程中的主要矛盾[1] [2] [3] [4]。由此反映的是养殖水体溶解氧供给与耗氧需求在空间上不同位和时间上不同步的矛盾，是“氧债”形成的主要原因。“氧债”长期累积是“浮头”“泛塘”的直接原因[1] [5]，是水产养殖中最急迫的安全威胁，直接影响水产养殖生产安全、水产品质量安全和渔业水域生态安全。研究“氧债”科学内涵和变化规律及其对养殖水质的影响和调控技术，努力实现溶解氧供给与耗氧需求在“时空”上达到同步，将养殖水体“氧债”控制在最低水平，是养殖水质调控的理想境界，对推行生态健康养殖，实现水产养殖优质、高效、安全具有特别重要的意义。

2. “氧债”的科学内涵

2.1. “氧债”的提出

“债”本来是经济学概念，本义是借欠他人的财物。俗话说，债总是要还的。从经济学角度说，债是一种权利与义务关系：债主有追债的权利，欠债人有还债的义务。“氧债”的概念是由原上海海洋大学王武先生于上世纪八十年代初提出的，他在对江苏无锡河埭高产鱼池水质，尤其是溶解氧供求变化规律深入研究的基础上，借用经济学“债”的范畴，提出了水产养殖中“氧债”的概念。他认为，“氧债”是好气性微生物、有机物的中间产物和无机还原物在缺氧条件下，其理论耗氧值受到抑制的那部分耗氧量[5] [6]。池塘溶解氧在供应充足情况下的耗氧量和实际耗氧量之差，即为“氧债”。

2.2. 总氧债

笔者认为，水体中理论耗氧总量，也就是水体中所有潜在耗氧量，即为水体总氧债。主要包括两部分，一是有机物在微生物参与下，充分氧化还原，彻底分解成二氧化碳、氨和水等无机物所需氧气量，即所谓“水呼吸”[4] [5]，这是养殖水体中主要耗氧途径；二是无机还原物充分氧化还原所需氧气量。水体中有机物氧化还原可由好氧性微生物参与，也可由厌氧性微生物参与，还可能没有微生物参与。但是，

无论有无微生物参与, 或者由哪类微生物参与, 最终都需要有氧气的充分供给和参与, 才能实现有机物完全氧化分解, 这时消耗的氧气量即为理论耗氧量。微生物仅仅是有机物氧化还原的参与者, 其耗氧并非他们呼吸所消耗, 而是有机物分解过程所消耗。从理论上说, 如果水体溶解氧充足, 且氧气与参与氧化还原的微生物、被氧化还原的有机物及无机还原物等充分接触, 并且参与氧化还原的微生物数量充足、生命活动旺盛, 使有机物氧化还原充分彻底, 该水体完成上述过程所产生的耗氧量即为理论耗氧量, 即水体总氧债量。

2.3. 实时氧债

实时氧债, 也可称之为即时氧债。存在于三个方面: 一是溶解于水中无机还原物耗氧量; 二是有机物生物降解后形成中间产物的耗氧量; 三是水中溶解有机物和底泥表面与水完全接触有机物, 并与微生物充分参与氧化还原形成的耗氧量。上述三方面前两者, 只要水体充分供氧, 这部分“氧债”便几乎是瞬间迅速偿还, 快速消耗水中氧气。这部分“氧债”一般来说总体数量不大, 即便迅速偿还, 也只是使养殖水体的溶解氧水平由高到低, 造成“浮头”或严重“浮头”。除非这时养殖水体溶解氧水平已很低, 再偿还这部分“氧债”, 才可能造成“泛塘”。上述实时氧债的后者, 如果只有溶解有机物, 但没有参与有机物氧化还原的微生物存在, 其氧化还原过程缓慢的, 因此, 这部分有机物的耗氧量仍只是潜在的。如果养殖水体淤泥表面有大量胶质物质存在, 淤泥中的有机物仅有少量转移到水中, 只有在暴雨或大量注水形成较大的水流冲击, 才可能将淤泥中有机物转移到水中, 形成巨大的现实耗氧源。因此, 高温闷热天气后的强雷阵雨, 极易引发养殖水体“泛塘”事故。

总之, 水体总氧债只是潜在威胁, 实时氧债才是水产养殖的现实威胁。与水产养殖实际密切相关的是实时氧债, 研究实时氧债对水产养殖业更具有现实意义。

3. “氧债”的产生原因

在池塘等封闭静止的养殖水体中, “氧债”产生的根源是由于有机物在养殖水体中长期积存与溶解氧供需在“时空”上失衡造成的。“氧债”的产生和累积主要是由于养殖水体在晴日白天处于相对静止状态, 使养殖水体下层、底层处于缺氧状态, 而使养殖水体水底大量沉积的有机物未能及时氧化还原而长期形成的结果。

3.1. 有机物积存

水产养殖水体底部有机物积存是主要的“氧债”源, 其来源包括:

1) 水产养殖动物粪便。这是养殖水体有机物积存的最主要来源。在高密度养殖水体中, 每天都要投喂大量饵料, 完全被水产动物消化利用的不到一半, 还有一半以上变成了排泄物, 即粪便排泄到了养殖水体中, 大部分沉积在水底变成淤泥。

2) 未被利用的残饵。由于饵料的适口性、完整性和水产动物摄食习性影响, 使投喂的部分饵料未被水产养殖动物摄入, 而残留于水中或沉积水底化为淤泥。

3) 水生生物尸体。浮游生物、微生物、水生植物、底栖动物及水产养殖动物死亡后沉积水底, 化为有机物或淤泥。

3.2. 溶解氧供给与消耗空间上不同位

首先, 氧气作为气体, 比重轻, 在静止水体中运动方向总是单向的, 即“气往高处走”[7]。养殖水体在晴天自然状态下, 养殖水体底层和下层氧气总是向水体中上层或表层运动, 水体上层溶解氧水平总是最高, 并且以水面以下 20 厘米处为最高[6]。这是由于在晴天光合作用强烈时, 水表面溶解氧因向大气

中逸出而略降。其次，水体与空气接触交换。当水体中溶解氧较低时，空气中氧气也会溶解于水，这种现象也是发生于水体表层。因此，在流水情况下或有风天气，当水体表层溶解氧较低时，水体表层溶解氧仍然可以从空气中氧气溶解后得到补充，并且随着养殖水体走向、面积大小、自然风力的大小和水流速度的高低等因素，溶解氧补充速度也有较大差异。第三，作为养殖水体溶解氧主要来源的光合作用，也发生在太阳光照射到的水体表层和上层。在晴日天气午后，强烈的光合作用使养殖水体表层溶解氧处于饱和或过饱和状态，如不及时输送带走，稀缺珍贵的溶解氧就会从水体表层逸出到空气中而浪费。所以，溶解氧产生和传递的基本规律决定了一般养殖水体上层总是最高，下层、底层总是最低，甚至处于缺氧状态，这就是养殖水体溶解氧分布的主要特征，也是养殖水体“氧债”产生的根本原因。

而有机物积存除少量溶解或悬浮于水中外，大部分沉积在水底，化为淤泥。在晴日天气的静止水体中，形成有机物和溶解氧虽然相互需求，但因为上下分离，隔水相望，无法相互接触。养殖水体下层和底层的有机物难以及时氧化还原，从而形成“氧债”。

另外，大部分高档水产动物都是底栖型的，它们的摄食、生活都是在水体底层或下层完成，消耗氧气也是在水体底层和下层，与溶解氧供给和分布也是不同位。从而使养殖水体溶解氧分布两极分化，上层溶解氧供过于求，造成过多的溶解氧从水体表面逸出而浪费，而底层和下层溶解氧因长期短缺，积累了大量“氧债”。

3.3. 溶解氧供给与消耗时间上不同步

一般养殖水体中，溶解氧主要来源是植物的光合作用，都是在晴天白天进行；而进入夜晚后，光合作用则完全停止，养殖水体便失去了溶解氧来源的主渠道。而此时，绝大多数水生生物都进入了耗氧状态，即便本来是溶解氧主要来源，能进行光合作用产生氧气的浮游植物和其他水生植物，在进入夜晚后也因为光合作用的停止，也成为养殖水体的主要耗氧源。而水产动物和水体中有机物则是全时段、全天候耗氧。尤其在阴雨天气，一方面，光合作用明显减弱，溶解氧供给大幅度减少；另一方面，不仅水产养殖动物及其他耗氧过程仍然持续不断。并且，由于雨水作用，有机物耗氧因为养殖水体上下水层交换速度加快而变得更加强烈，耗氧量不降反增[3][5]。这种溶解氧供给时间与有机物及水产动物等耗氧时间上的不同步，形成了巨大的反差，这就形成了夜晚几乎断绝的溶解氧来源与夜晚剧增的溶解氧消耗之间的“剪刀差”和阴雨天大幅度减少的溶解氧来源与比平日大幅增加的溶氧消耗之间的“剪刀差”，从而使养殖水体中大量有机物得不到及时氧化还原，“氧债”不断累积，使水产养殖业风险剧增。

总之，在一般静水养殖水体中，从空间上来说，溶解氧的来源和积存主要在水体表层、上层，而溶解氧消耗是全水层、全方位，但主要需求存在于水体下层、底层和底泥表面，溶解氧的供求这种错位，使养殖水体溶解氧分布两极分化，上高下低，上余下缺。因此，养殖水体在养殖季节的晴天白天，养殖水体总是上层“氧盈”和下层“氧债”也是同时存在。从时间上来说，养殖水体自然增氧时间性强，这是因为光合作用只存在于白天浮游植物及水生植物的生命活动中，并且是在晴天白天光合作用最为强烈，产氧量也最大；而养殖水体耗氧是全时段、全天候和几乎所有种类水生生物全覆盖的，原先在白天作为溶解氧来源的浮游植物及水生植物，到了夜晚，不仅不能产氧，反而变成了耗氧；尤其是在夜晚气温下降和阴雨天气降雨造成表层水温下降，形成水体上下层对流。如果突发性的降雨，则这种对流更加剧烈，就可能对淤泥表层和浅层形成冲击，使原来底泥中不参与耗氧的有机物，也加入到耗氧行列，由潜在耗氧变成了实时耗氧，使实时“氧债”进一步加大。

4. “氧债”的基本特点

根据养殖水体“氧债”产生原因和变化规律，“氧债”具有以下基本特点：

- 1) “氧债”主要存在于水体下层和底层，以底泥表面为最高；
- 2) “氧债”主要产生于养殖季节的晴日白天，尤其是晴天下午，以傍晚时为最高值；
- 3) “氧债”增加是日积月累、缓慢递增的过程；
- 4) “氧债”在自然状态下的偿还过程具有突然性和爆发性，使养殖水体中贮存的溶解氧在短时间内消耗殆尽。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。

5. “氧债”对水产养殖的影响

分析“氧债”发生、发展和消亡的规律，其与企业举债、银行放贷过程极其相似：当企业运行质态良好、自有资金充裕时，银行自愿大量放贷，以获得稳定的收益；当企业举步维艰、资金运转困难，产生缺口时，银行不仅不愿继续放贷，而且匆忙回收已放贷款，使困难企业发生“债务危机”，甚至破产倒闭。“氧债”发生也是在溶解氧富余时产生，在溶解氧告急时偿还，并且偿还时间短，往往使养殖水体溶解氧在供不应求的状况下“雪上加霜”，发生“氧债危机”而出现“浮头”，甚至发生“泛塘”而绝收。因此，“氧债”对水产养殖影响极大，具体表现为以下几方面。

5.1. 转化为无机盐，提高水体初级生产力

“氧债”的主要载体为有机物。有机物在细菌或真菌和溶解氧的共同作用下，可以分解为硝态氮(NO_3^- -N)、氨态氮(NH_4^+ -N)、速效磷(P_2O_5 -P)和二氧化碳(CO_2)等浮游植物和水生维管束植物所必需的无机营养盐及微量元素，促进光合作用，提高养殖水体初级生产力和溶解氧水平[2] [3] [4]。同时，有益细菌和真菌等有益微生物在利用和转化有机物的过程中，其种群也在不断扩大，形成的“生物絮团”也是水产动物的饵料来源。以上就是养殖水体“氧债”的主要正面作用。

5.2. 降低养殖容量，加大“泛塘”风险

“泛塘”是突发性强、损失最严重的水产养殖事故。“浮头”“泛塘”的直接原因是养殖水体缺氧，根源是“氧债”。“氧债”造成养殖水体底层长时间处于低氧或缺氧状态，阻碍了水体中氧化还原进程，影响了水中物质转化和能量转换，降低了养殖容量。在“氧债”积存较大的养殖水体中，夜晚或雷阵雨后因上层水温下降形成的密度流，使养殖水体上下水层剧烈交换，引发爆发性耗氧，养殖水体中贮存的溶解氧在短时间内大幅度下降[4]，引发“浮头”；如“氧债”累积量大，便会使养殖水体溶解氧消耗殆尽，发生“泛塘”，造成水产动物大量死亡，甚至全军覆没。

5.3. 增加生产成本，影响养殖产量、品位和效益

“氧债”造成水体底层长时间缺氧，整个养殖水体处于低氧状态，既影响水产动物摄食强度，又影响饵料消化利用率，增加了饵料成本。同时，夜晚和阴雨天的低氧，还减少了水产动物生长时间，降低了水产动物生长速度和养殖产量，影响了养殖效益。特别是虾蟹、海参、海蜇、鲍鱼、扇贝等底栖型名贵水产动物，因为养殖水体下层氧债累积，极易产生 H_2S 、 CH_4 等还原状态的有毒有害物质，不仅影响了其摄食和生长，而且影响水产品风味，使水产品带有“土腥味”，直接影响销售价格和经济效益。

5.4. 引发水产病害，加大质量安全风险

水质环境恶化是引发水产病害的根本原因。江河湖泊水库等天然水体因为水体活、水质好，几乎见不到水产动物生病。随着养殖密度增加，投入强度加大，“氧债”逐步累积，水体环境质量下降，极易诱发水产动物生病。因为“氧债”存在，养殖水体中氧化还原反应难以持续进行，使 H_2S 、 NO_2^- 、 CH_4

和 NH_3 等有毒有害物质持续增加[4] [5] [8], 直接毒害水产动物, 使其处于“亚健康”状态, 造成水产病害损失日趋严重。近几年, 部分地区南美白对虾、鳊鱼和异育银鲫等养殖品种因水质下降, 导致危害严重的病毒性病害频繁发生, 个别单位甚至绝收。同时, 由于防病用药不断增加, 水产品质量安全风险也在加大。

5.5. 引起“蓝藻”爆发, 污染周边生态环境

局部地区对水域或农田盲目开发, 发展水产养殖业, 肆意增加养殖密度, 提高投入强度, 加快了养殖水体“氧债”累积速度, 造成“氧债”大量积压, 表现为养殖水体的严重富营养化, 致使局部地区养殖水体“蓝藻”爆发[8]。这些高“氧债”的养殖尾水如排放到周围水域, 扩大了农业面源污染, 带动了周边水域环境恶化, 甚至形成“黑臭”水体。

6. 遵循“氧债”规律调控养殖水质

一个运转良好的企业, 资金总是处于良性循环运转状态, 即债权与债务保持动态的平衡, 从而维持或扩大再生产, 销售产品, 产生利润。同样, 一个水质调控良好的养殖水体, “氧债”也处在不断产生和偿还过程中, 为养殖水体中浮游植物和其他水生植物源源不断提供无机营养盐和微量元素, 促进水体中物质转化和能量转换, 伴随着水产养殖动物持续健康生长, 最终向社会提供优质安全的水产品。尽管“氧债”是水产养殖的潜在风险和主要威胁, 但“氧债”并不可怕! 关键是科学调控养殖水质, 努力实现养殖水体溶解氧的有效均衡供给, 空间上同位, 时间上同步, 使养殖水体“氧债”一旦产生及时偿还, 避免“氧债”累积, 保障溶解氧充裕供给, 促进水产动物快速健康生长。

6.1. 清淤消毒, 消除养殖水体最大“氧债”来源

底部淤泥是养殖水体最主要的氧债来源。尤其是多年未彻底清淤的养殖水体, 养殖过程中水产养殖动物粪便、残饵及水生生物尸体等逐年沉积, 积存了大量有机物, 少数高产养殖池塘淤泥甚至深达 80~100 厘米, 这些水体“总氧债”是保持每年清淤的养殖水体“总氧债”的数倍, 甚至十几倍, 对水产养殖安全影响极大, 必须彻底根除。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; 二是冬闲时养殖水体及时排干水体, 让底层淤泥或经深层耕翻后再“风吹日晒”, 使其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, 避免在养殖过程中耗氧, 而减少“氧债”。

6.2. 及时存氧, 减少人工补氧

晴天光合作用强烈, 能快速增氧, 使养殖水体中溶解氧处于供过于求状态。尤其是夏日晴天午后, 在养殖水体上层和表层溶解氧均处于饱和或过饱和状态, 造成大量宝贵的溶解氧资源向空气中逸出而造成浪费。同时, “气往高处走”作为溶解氧运动的基本方式, 以及日照造成的水温上高下低、密度上小下大形成的“热阻力”, 使晴天白天养殖水体上下水层几乎没有交换, 养殖水体下层、底层总是处于少氧或缺氧状态。这种溶解氧分布的“贫富不均”, 一方面造成浪费, 另一方面又使养殖水体底层和下层累积“氧债”。如能及时将上层富余“溶解氧”运送到底层, 既消除了溶解氧分布的“两极分化”, 又及时库存这部分“富余氧气”, 以应阴雨天和夜晚光合作用停止产氧或产氧量减少时的“不时之需”。实现上述目标, 过去主要是发挥增氧机的作用, 尤其是叶轮增氧机的搅水提升作用, 实现下层有害气体从表层逸出, 同时, 将表层富余溶解氧输送并贮存在水体下层和底层[9] [10]。而毋须在夜晚早开增氧机械补充溶解氧缺口, 延迟或减少增氧机开机时间, 减少能源消耗。

6.3. 挖潜降耗，高效利用存量溶解氧

权威机构研究表明，水生植物(主要是浮游植物)光合作用是养殖水体溶解氧的主要来源，占养殖水体总供氧量的 80%~90% 以上[2] [3]，人工增氧仅仅是溶解氧来源的补充。用好用足光合作用产生的氧气，减少因水体表层、上层溶解氧过饱和而逸出造成的浪费，是解决养殖水体“氧债”的主要途径，也是水产养殖业节能减排的重要方法。也就是通过“增氧活水机”制造“活水”[11]，及时将光合作用生产的氧气输送到水产养殖动物栖息的水层和有机质大量积存的水底和水体下层，一方面满足水产养殖动物生存生长之必需，另一方面使有机物快速、充分氧化还原，及时偿还“氧债”或消除“氧债”，从而根除“氧债”带来的风险。

6.4. 制造“活水”，及时偿还“氧债”

“氧债”累积是一个长期缓慢的过程，消除“氧债”需要向养殖水体底层持久均衡供氧，即长期、源源不断向养殖水体底层输送足量氧气。即通过高效节能型的活水机或“增氧活水机”全时段、全天候在养殖水体的全方位、全水层制造“活水[11] [12] [13]”(微速循环流水)，实现均衡供氧和送氧。只有这样，才能使养殖水体溶解氧持续补充、均匀分布，实现“氧债”既不断产生，又不断偿还(清除)，处于动态循环和平衡状态，不会形成累积，从而根除因“氧债”累积造成的“浮头”“泛塘”风险。同时，“活水”可以使养殖水体中各类微生物由静物变“动物”，化被动为“主动”，增加了微生物与有机物的接触频率、接触时间和接触程度，提高了微生物对有机物的净化效率，扩大了其净化作用的范围[7]；总之，“活水”造就的溶解氧均衡供给，提高了好氧微生物的有机物转化效率和净化效果，根除了 H_2S 、 NO_2^- 、 CH_4 和 NH_3 等有毒有害中间产物的产生，加速了“氧债”清除。

6.5. 生物净水，“氧债”转肥调水

“氧债”存在是高产高效养殖的主要威胁，其影响总体是负面的。但是，在地处偏远的江河湖泊水库，作为“氧债”主要积存的有机物在微生物作用下，转化为浮游植物和水生植物的主要营养成分来源，对提升水域生产力，提高水产品产量具有积极意义。

有机物是养殖水体“氧债”主要来源和存在形式。有机物氧化还原即“氧债”的偿还，离不开细菌、真菌和浮游植物等有益微生物全面深度参与。但是，在高产养殖水体中，仅仅依靠水体原有微生物自身种群密度是难以完成这种高强度有机物转化过程。而应选择适应范围广，生存能力强，对有机物转化利用效率高的微生物品种，用于养殖水体有机物转化，将积存的“氧债”转化无机肥料，为浮游植物提供营养盐和碳源(CO_2)，促进养殖水体光合作用，增加溶解氧来源[3]。从上世纪 80 年代后期起，我国水产养殖业从光合细菌，到芽胞杆菌、乳酸菌、EM 菌等系列多品种有益菌广泛应用，取得了丰硕成果，并早已为从事水产养殖业的广大渔民所认识[7] [10]。但如何应用提高有益微生物的应用效果，仍须进一步深入研究。同时，在高产养殖水体中优良浮游植物品种受到生态环境和滤食性鱼类及浮游动物等影响，衰减速度较快[2]，搞好注水、换水或接种单细胞藻类，促进其品种更新，对维持有益浮游植物密度和活力，对维护养殖水体“活力”具有重要意义。

参考文献 (References)

- [1] 张扬宗, 谭玉钧, 欧阳海, 主编. 中国池塘养鱼学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [2] 何志辉, 主编. 淡水生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985.
- [3] 王武, 主编. 鱼类增养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [4] 刘建康, 主编. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

- [5] 汉·王充 论衡·诸子集成[M]. 长沙: 岳麓书社, 1996.
- [6] 李荣福, 刘海平. 一种增氧活水机[P]. 中国: 2001 2 0099781.6 2011-04-07.
- [7] 李荣福, 张家宏. 增氧活水机在池塘养殖中的推广应用[Z]. 江苏省水产三新工程项目验收材料, 2015(7).
- [8] 杨显祥, 李荣福, 等. 活水机应用于罗氏沼虾养殖的初步研究[J]. 科学养鱼, 2013(3): 75-76.
- [9] 李荣福, 杨显祥, 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.
- [10] 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.
- [11] 赵文, 主编. 养殖水域生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [12] 王武. 精养鱼池耗氧和氧债的研究《精养鱼池水质管理的原理与技术》[M]. 上海: 上海水产学院, 1984.
- [13] 汪建国, 主编. 鱼病学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.

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: 2376-4260, 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: ams@hanspub.org