

农业部渔业局重点科研项目
合同编号：渔 95-B96-04-01

强制湍流双作用高效臭氧水处理系统
在水产育苗和养殖中的应用研究

研究报告

主管单位：天津市水产局

主要承担单位：天津市水产研究所

2000.年 9 月

承担单位:

天津市水产研究所

北京清化通力机电设备有限责任公司臭氧技术开发中心

天津市塘沽区水产局技术推广站

武汉市水产科学研究所

主要研究人员

孙广明 李汉忠 李宝华 王博君 杨翔 段汝煦 孙晓旺 杨建军
朱福庆 马运生 冯守明 刘宗豹 林风琴 龚婉如 艾桃山 张素青
刘颖 李秀梅 郑光明 刘学刚 叶红梅

项目总结报告

- | | |
|---------------|----------|
| 1 工作报告 | 天津市水产研究所 |
| 2 技术总报告 | 天津市水产研究所 |

项目技术分报告

第一部分 在河蟹育苗中的试验与应用

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| 1 应用臭氧处理水培育中华绒螯蟹苗的试验 | 天津市水产研究所
天津市塘沽区水产局 |
| 2 臭氧水处理器在河蟹育苗生产的应用 | 天津市水产研究所 |
| 3 QT-20 型臭氧水处理系统在河蟹育苗生产中的应用试验报告 | 天津市水产研究所 |
| 4 内陆地区河蟹育苗水处理工艺 | 天津市水产研究所 |
| 5 臭氧在河蟹育苗规模化生产上的应用 | 天津市水产研究所 |

第二部分 在水质净化中的试验与应用

- 1 臭氧对海水育苗中水质理化指标的影响 天津市水产研究所
- 2 臭氧杀灭海水中细菌效果检验及在生产上应用前景
大连碧龙还珍品有限公司
- 3 臭氧特性及对水质的净化作用 天津市水产研究所

第三部分 在育苗、防病与促生长方面的试验与应用

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 臭氧、光合细菌综合生物效应对提高工业化罗氏沼虾育苗的应用 | 天津市水产生物技术中心
塘沽区淡水开发养殖公司
天津市水产研究所 |
| 2 臭氧水对斑点叉尾鮰受精卵孵化及幼苗培育的影响 | 天津市水产研究所 |
| 3 臭氧治疗细菌性鳃病试验 | 天津市水产研究所 |
| 4 臭氧水处理技术在温室养鳖中的应用 | 武汉市水产科学研究所 |
| 5 臭氧对鳊体生长速度作用效果的试验 | 天津市水产研究所 |
| 6 臭氧净化水培育单细胞藻的试验 | 天津市水产研究所 |
| 7 贝类净化试验 | 天津市水产研究所 |

第四部分 高效臭氧水处理设备的研制

- 1 高效臭氧发生器的研究 清华大学通力臭氧技术开发中心
2 强制湍流双作用臭氧气水混合器的研制 天津市水产研究所
3 臭氧水处理器吸收效率测试分析报告 清华大学通力臭氧技术开发中心
天津市水产研究所渔业环境监测站

强制湍流双作用高效臭氧水处理系统 在水产育苗和养殖中的应用研究

(农业部重点科研项目)

工作报告

执笔 孙广明

1 立项依据

自八十年代以来,天津市水产养殖业有了快速发展,水平不断提高。随着养殖业的发展,海、淡水育苗生产已步入工业化生产阶段。工厂化育苗技术的日趋成熟,又促进水产养殖业的进一步发展和提高。由于近年来工、农业污染日益严重,造成了养殖水环境不断恶化,因水质污染造成水产育苗生产的减产或绝产、越冬亲鱼或苗种的大批死亡事件时有发生。由于水质问题使我市渔业生产部门引进的名优鱼种成活率不高,养殖病害也频繁发生,所有这些严重制约了我市渔业生产的进一步发展。面对日趋恶化的水质环境,有关科研、生产部门在水处理及鱼病防治等方面采取措施,但使用常规水处理手段难以从根本上改善养殖育苗水质。如何对生产用水进行有效的处理,改善和净化养殖、育苗水质,是今后发展健康养殖、节水渔业一个十分重要的问题。尤其是在水资源严重不足的今天,这个问题显得更为重要。臭氧是一种强氧化剂,具有很强的灭菌消毒、除味、去色、降解有机物的特性。应用臭氧进行消毒净化,具有无毒、无害、无任何残留的特点,臭氧被誉为是当前世界上最洁净的消毒剂。水产养殖用水经臭氧处理后,水质状况得到明显改善。在国外,臭氧在水产方面的应用有较多的报道,自1929年开始就有人撰文发表臭氧在水产养殖中应用效果的文章,其后的几十年间众多学者应用臭氧在水产养殖、幼鱼培育、病害防治、控制赤潮及灭菌消毒等方面进行了大量试验和多方面应用。有资料证明,应用臭氧进行水的净化消毒比其他水处理系统更具有竞争力。据资料报道,经臭氧处理后的水可以改善细胞呼吸条件,促进生物生长。用其进行水产育苗和幼鱼培育,可以大幅度降低幼苗死亡率,鱼的食物转化率可以显著提高。

资料显示,臭氧在日本、泰国、俄罗斯等国及我国的台湾地区的水产养殖业中得到应用,在美国,臭氧水处理设备已成为一个完整育苗系统中不可缺少的部分。

在国内,臭氧在水产养殖和育苗中应用起步较晚。九十年代中期一些研究机构进行过应用试验,也有一些水产生产单位开始应用。例如:厦门海洋研究所与清华大学利用臭氧进行了对虾养殖防病试验。辽宁鞍山、大连,山东长岛等地的一些研究、教学及生产单位在鱼的养殖,海参、鲍鱼、牡蛎和扇贝等品种的养殖和育苗进行的试验并在应用中取得较好的效果。

在目前的应用中,普遍存在臭氧设备体积庞大、臭氧利用率低、臭氧投加量的调节控制困难等问题。由于有些应用单位对臭氧性质和应用技术不甚了解,应用臭氧造成鱼类大批死亡事件也有发生。到目前为止,还未见到结合水产特点专门为水产养殖设计,方便使用灵活调节的臭氧水处理设备。同时也未见到关于臭氧在水产养殖及育苗生产的优化模式,水产养殖水处理,鱼病防治和促进生物生长等方面的深入研究和系统报道。我们针对上述情况进行臭氧在水产养殖方面的研究,找出臭氧应用的规律性,研究提出应用臭氧进行水产育苗的优化模式,研制出适用的臭氧水处理设备,这些研究和试验工作将对促进水产健康、节水养殖技术和工厂化养殖及育苗业的发展有着重要意义。

2 项目来源及主要研究工作内容

2.1 项目来源

臭氧在水产中应用研究工作涉及面广工作量大,既需要进行机电设备的设计制造,又涉及大量的水化生物试验,同时还要求进行规模化生产的应用。为了寻求更多的支持,我们分别以“强制湍流双作用高效臭氧水处理系统在水产育苗和养殖中的应用研究”向农业部申请了重点科研项目,项目编号为:渔 95-B-96-04-01;以“水产育苗水处理技术研究”向天津市科委申请了农业重点科研项目,合同编号为:963116811。农业部计划下达项目经费7万元,实际到位经费为4万元。天津市科委下达经费拨款5万元,贷款5万元。在项目的进行过程中,得到了农业部渔业局和天津市科委的大力支持。

2.2 根据项目任务书的要求完成了如下的试验研究工作

2.2.1 进行了高效臭氧水处理系统的研制

(1) 采用了高频脉冲逆变电源新技术和 TC 复合新材料研制出高效臭氧发生器, 其性能比传统设备有了大幅度提高。使它的臭氧产率比工频电源提高 6~8 倍, 并大幅度减小了发生器的体积与重量。在相同的工作频率下 (600Hz) 时, 比同类型常规臭氧发生器的臭氧产率提高 44%, 电耗降低 42%。

(2) 以湍流理论为核心结合静态混合技术, 应用自由射流有效射程原理、扩压管增压及后端管增效设计与撞击流反应原理等多项理论与技术相结合, 设计出环流混合式“液气液”双作用臭氧气水混合反应器。经试验与生产上应用证明, 具有良好的混合功能和优越的使用性能。

(3) 将高效臭氧发生器与高效气水混合器相结合, 根据水产养殖及育苗工艺特点按功能设计出水、电路控制系统, 设计出 QT 系列三种型号的臭氧水处理器。QT 型臭氧水处理器体积小、重量轻、安装维护方便, 具有处理水量和臭氧投加量连续可调的功能, 并能做到调节水量时不影响气水混合效果, 使臭氧能得到有效的利用。由于该系统具有调节灵活的功能, 具有较强的适用性和通用性, 所以能适用多种条件下的水生生物试验, 及在水产育苗、养殖生产上使用。

2.2.2 对水质净化效果进行了试验

(1) 进行了对细菌杀灭效果的试验。在大连碧龙海珍品有限公司, 应用 QT-5 型臭氧水处理器对育苗海水进行杀菌试验, 在臭氧投加量为 1mg/l 时灭菌率大于 99%。在大连旅顺德昌水产养殖公司, 应用 QT-50 型臭氧水处理器对地下深井的淡水进行杀菌试验, 在臭氧投加量为 0.47ml/l 时灭菌率大于 97%, 当臭氧投加量为 0.63mg/l 时灭菌率接近 100%。在天津市大港区大华育苗厂, 应用 QT-20 型臭氧水处理器对河蟹育苗用水进行杀菌试验, 在臭氧投加量为 1.25mg/l 时对弧菌的杀灭率大于 92%。在应用臭氧进行鱼病治疗试验和武汉进行温室养鳖试验以及在育苗生产中, 及对水中细菌的测定结果表明, 应用臭氧对养殖和育苗水体中的细菌杀灭作用非常显著, 是杀菌消毒的有效手段。

(2) 进行了对水中浮游生物的作用效果试验。臭氧可以有效的杀灭水中的浮游生物, 通过试验证明了当臭氧投加量为 2.08mg/l 时, 对浮游动物的杀灭率可达 95% 以上。对浮游

植物的杀灭率可达 50% 以上, 当臭氧投加量为 4.17mg/l 时, 浮游动物的杀灭率可达 100%, 浮游植物的杀灭率可为 89% 左右。臭氧对不同各类的浮游植物的杀灭效果是不同的, 对金藻的作用最为强烈, 对硅藻次之, 对蓝绿藻的杀灭效果相对较差。臭氧能有效的杀灭赤潮生物, 经臭氧处理 10min 多甲藻、角甲藻的壳体被臭氧击碎, 色素完全消失使细胞失活。

(3) 进行了臭氧对有机物与无机物的降解作用的试验与研究。在这方面进行了大量试验和资料查询工作, 较详尽的阐明了臭氧对水体中的有害物质的去除和降解作用。通过试验证明了臭氧向水中投加量与水中电极电位的关系, 经臭氧处理过的水质电极电位明显提高, 从综合角度来讲水质将得到明显改善。

2.2.3 在臭氧育苗优化条件试验和高产高效模式研究方面所做的工作

(1) 臭氧处理水河蟹育苗优化条件的试验研究。几年来应用臭氧在水产育苗方面进行了大量的试验研究工作。1997 年在天津市塘沽区塘宁育苗厂, 应用正交试验设计, 找出了臭氧处理水用于河蟹育苗的最佳条件的组合方案。应用灰色系统理论关联度分析方法, 找出影响河蟹出苗量的生化因子的主次关系为: 细菌总数、氨氮、耗氧量、亚硝酸盐、这为臭氧在河蟹大规模育苗生产上应用和建立高产高效育苗模式奠定了理论基础。

(2) 臭氧水处理技术在河蟹育苗生产上得到成功应用。以优化试验结果为依据, 1997~1998 年间在天津市大港区大华水产育苗场, 应用 QT-20 型臭氧水处理器进行河蟹育苗生产性试验, 当年试验池生产蟹苗 220kg。单位水体出苗量为 685g/(m³ 水体), 比对照组单位水体出苗量为 432g/(m³ 水体) 高出 36.5%。而且试验组蟹苗活力强, 个体大质量明显优于对照组, 臭氧在河蟹育苗生产试验中取得了明显效果。

(3) 通过试验总结归纳出“臭氧水河蟹育苗生产工艺”。对亲蟹选择、亲蟹暂养和越冬, 孵化前的准备和孵化中的日常管理及病害防治等, 都提出了具体的操作工艺和规范, 在应用臭氧大规模育苗生产中起到指导作用。

2.2.4 建立了臭氧闭式循环水处理在内陆地区河蟹育苗生产中的应用模式

(1) 天津大港油田钻井一公司名特优水产养殖中心育苗场, 地处内陆每年都需要用汽车运输大量海水供生产使用。1997 年在该场应用 QT-5 型臭氧水处理器进行了闭式循环臭

氧水处理河蟹育苗生产，由于采用育苗生产用水臭氧循环处理工艺，不但节约大量海水运输费用，而且还有效的避免了生产废水的排放对周围农田的污染。在 1997 年生产中应用水体 648m^3 ，育出河蟹大眼幼体 187.6kg ，取得了良好的经济和社会效益。

(2) 1998~2000 年间，在江苏扬州农业发展总公司长江水系河蟹原种场，应用 QT-20 型臭氧水处理器，实现了内陆地区河蟹育苗用水封闭循环使用高产高效工艺模式。该育苗场地处内陆距海边 200 余公里，自建成后每年均需运进大量海水供生产使用。不但每年高昂的海水运费成了一项巨大的经济负担，而且使用后的海水无法排放，成了制约生产发展的一个重大难题。1998 年初装备了一台 QT-20 型臭氧水处理器，结合内陆地区河蟹育苗用水封闭循环使用高产高效工艺模式的实施，当年育出河蟹大眼幼体 376.8kg ，使该场生产局面得到根本转变。扬州日报于 1998 年 4 月 26 日在版头条以“河蟹人工繁苗在扬获突破”的醒目标题给与报道，并予高度评价。1999 年该场转制为“江苏省江洋特种水产品有限公司”之后，在原有基础上添置一台 QT-20 型臭氧水处理设备，扩大了生产规模，生产出河蟹大眼幼体 631.2kg 。进入 2000 年河蟹大眼幼体产量突破 750kg 。

几年来应用臭氧处理水进行封闭式水循环河蟹育苗的试验和生产上的应用，使利用臭氧处理水进行河蟹育苗工艺已经成熟，并创出内陆地区河蟹育苗高产、高效模式，在生产上已经发挥出显著的经济、社会效益。

2.2.5 臭氧闭式水循环水处理系统在罗氏沼虾育苗应用获得成功

1997 年天津市水产生物技术中心应用 QT-5 型臭氧水处理器，对育苗用水进行循环处理并配合光合细菌的使用，进行罗氏沼虾育苗获得成功。规模性试验取得了较好效果，试验组出苗率为 $(3.8\sim4)$ 万尾/ $(\text{m}^3 \text{ 水体})$ ，而应用常规模式的对照组为 $(2.5\sim3)$ 万尾/ $(\text{m}^3 \text{ 水体})$ 。应用臭氧进行罗氏沼虾育苗，其出苗率比常规方式高出 $(33\sim52)\%$ 。

2.2.6 在其他方面进行的试验工作

(1) 进行了臭氧对鱼体促生长机理的试验研究。从应用臭氧去除亚硝酸盐及改善鱼体内微生态环境两个方面，揭示了臭氧对鱼体生长的促进作用。

(2) 应用臭氧水培育单细胞藻类效果好，可缩短生产周期节约大量的化学药品、能源、

劳力，还可以改善工作条件简化生产工艺。

(3) 应用臭氧进行了斑点叉尾鲴的孵化和幼鱼培育试验。使用臭氧水进行受精卵的孵化，在不加任何药物的条件下孵化率可达 99% 以上。用臭氧进行了斑点叉尾鲴的幼鱼培育，经过 15 天的培育试验幼鱼成活率比对照组高 31.9%，体重增长率比对照组高 77.5%。

(4) 进行了应用臭氧水治疗细菌性鱼病的试验。经试验证明臭氧对斑点叉尾鲴腐烂病、鲤鱼赤皮病等细菌性鱼病都有很好的治疗效果。臭氧对池水消毒净化效果明显，利用臭氧的水池，水中浮游生物和细菌总数都大幅度下降，水中的亚硝酸盐和其他有害物质得到去除或降解，为保持良好的水质创造了相对稳定条件。可以说，应用臭氧是治疗和预防鱼病的有效措施。

(5) 武汉温室养鳖试验。温室养鳖池排出废水经臭氧水处理设备处理后，水体颜色由深黑色变成浅绿色，异臭味减退，透明度增加，水中细菌总数大大降低，氨态氮和亚硝酸盐得到明显降解，COD 有所改善，溶氧量明显增加，与自然水源无明显差异，而同时又保持了水温的恒定节约了能源。

(6) 通过臭氧贝类净化试验可以看出，臭氧对贝类体内的细菌和粪大肠杆菌有着强烈的去除作用，经臭氧处理过的四角蛤蜊、毛蚶活力增强，其体内的细菌数量明显降低。经臭氧净化的贝类，得到明显净化符合食品卫生标准。

2.3 几年来、项目进行过程在国内有关学术刊物上共发表文章 15 篇。具体如下：

- (1) 臭氧在水产养殖中的应用研究，《中国水产》1996.6
- (2) 臭氧水处理原理及在水产养殖中的应用，《内陆水产》，1998.4
- (3) 内陆地区河蟹育苗水处理工艺，《淡水渔业》，1998.5
- (4) 臭氧水处理技术在温室养鳖中的应用，《渔业致富指南》，1998.24
- (5) 臭氧在硬头鲂育苗中的应用（译文），《天津水产》，1997
- (6) 臭氧对海水育苗中水质理化指标的影响，《现代渔业信息》，1999.5
- (7) 臭氧、光合细菌综合生物效应对提高工业化罗氏沼虾育苗的应用，《现代渔业信息》，1997.12
- (8) 河蟹臭氧水育苗正交试验，《海洋渔业》，1999.7
- (9) 臭氧水对单胞藻的培育试验，《内陆水产》，1999.8

(10) 臭氧在河蟹规模化育苗生产上应用,《内陆水产》,2000.2

(11) 臭氧技术及在水产品加工业的应用,《2000 年中国水产学会学术年会论文集》,海洋出版社,2000.8

(12) 利用臭氧处理水培育中华绒螯蟹苗的试验,《天津农学院学报》2000.3

(13) QT-20 型臭氧水处理系统在河蟹育苗生产中的应用试验报告,《天津水产》,1999.4

(14) 臭氧水对斑点叉尾鲴受精卵孵化幼苗培育的影响试验,《天津水产》,2000.1

(15) 臭氧特性及对水质的净化作用,《渔业现代化》,2000.8

3 主要技术经济指标完成情况

3.1 通过试验掌握了臭氧水处理系统设计的基础数据,研制成功 QT 系列臭氧水处理设备共计 10 台,超过了任务指标。其中 QT-5 型 6 台、QT-5S 型 1 台、QT-20 型 2 台、QT-50 型 1 台。设备的主要性能及灭菌净化效果都达到设计要求,目前在市场上还未发现同种类型的产品。

3.2 几年来项目组在全国进行了大量的试验工作,主要试验点如下:大连碧龙海珍品有限公司,大连旅顺德昌海珍品有限公司。天津市塘沽区塘宁育苗场、津塘育苗场,大港区大华育苗场、大港油田钻井一公司育苗场,天津市生物技术中心。江苏省射阳县阜宁育苗场,扬州市农业总公司长江原种蟹育苗场。武汉市和平乡蟹场以及本所试验基地等,使用水体超过 3000m³。应用臭氧使产量提高幅度超过任务指标,在江苏扬州应用臭氧进行河蟹育苗生产,1998 年是该场 1997 年产量的 2.3 倍,1999 年达到 3.9 倍,而且成本下降 83.36%。

几年来总结提出的内陆地区应用臭氧处理河蟹育苗生产用水循环使用技术,适合我国国情,广泛推广使用可有效的实现高产、高效、优质的生产目标。

3.3 从臭氧解除亚硝酸盐对鱼体生长速度的作用,和臭氧对鱼体微生态环境的影响两个方面进行试验,在一定程度上揭示了臭氧促生长的机理。目前,在国内外水产有关学术刊物上尚未发现同类试验与报道。

3.4 应用臭氧进行了生产性试验和大规模生产中应用,较好的完成了生产效益的指标,几年来共育河蟹大眼幼体 1166.7kg,1999 年育苗量为 631.15kg。按市场价格计算总效益和年效益都超过了指标要求。

4 项目创新点

4.1 在高效臭氧水处理器的研制中,臭氧发生器放电室采用 TC 复合材料使臭氧产率大幅度

提高，电耗大幅度降低。气水混合器以湍流混合理论为核心结合多项流体理论，研制出环流混合式“液气液”双作用臭氧气水混合反应器。

以上述两项基础部件为核心的 QT 型臭氧水处理器体积小、重量轻、安装维护方便，具有处理水量和臭氧投加量连续可调的功能，并能做到调节水量时不影响气水混合效果，使臭氧能得到有效的利用。由于该系统具调节灵活和自动排渣的功能，具有较强的适用性和通用性，目前还未发现有同类产品应用和销售。

4.2 在河蟹育苗优化条件试验中，应用灰色系统关联度分析理论与正交试验设计相结合的方法，找出了育苗因子的主次关系和优化条件。

4.3 应用 QT 型臭氧水处理器，在内陆地区闭式循环水处理河蟹育苗生产，取得了高产高效成果。提出了内陆地区河蟹育苗水处理工艺。

4.4 从臭氧解除亚硝酸盐对鱼体生长速度的抑制，和臭氧以鱼体微生态环境的影响两个方面进行试验探讨，提出了臭氧促生长机理。

4.5 利用臭氧进行了罗氏沼虾育苗，斑点叉尾鲟的繁苗和幼鱼培育，单细胞藻类的培育，治疗细菌性鱼病及对水质的净化作用的有关试验。

5 完成项目采取的主要措施

5.1 天津市水产局对项目的整个过程都非常重视和支持，在项目进行中经费遇到困难的时候，局科教处、财务处、养殖处都给予了极大的关心和有力的支持，为保证项目的完成起到关键作用。

5.2 为保证项目的正常进行解决项目经费不足问题，我们采取了以项目养项目的方式。由于试验用设备价格昂贵，仅靠项目经费是无法完成试验任务的。在试验中我们注意生产实际，强化与生产结合，利用新技术研制出即适用于试验又适用生产的高性能设备。在规模化生产中我们将设备转给用户，即解决了他们生产上的急需，换回的收入又可以补充项目经费的不足，使项目得以正常进行。

5.3 由于臭氧在我国水产养殖中的试验与应用尚处于初始阶段，在国内可供借鉴的资料很少，因此我们尽量联系国内有关单位并进行广泛的试验工作和技术交流。我们先后在辽宁的大连，江苏的射阳和扬州，武汉和青岛等地共计 16 个单位进行了试验和应用，取得广泛的收获和成果。

5.4 在项目组成及应用试验中，我们主动与大学、科研机构和生产单位进行合作，从技术、设备和条件等各方面作到互补，使各方受益共同提高。

5.5 在项目进行过程中我们重视及时收集数据及时总结，将试验成果工作收获及时总结并尽量在刊物上发表，力图加速技术交流和臭氧应用技术的宣传与推广。几年来这种做法取得了成效，在与同行专家交流的同时我们自身也得到提高。

6 关于臭氧技术广泛推广应用的几点建议

6.1 臭氧在水产业的海、淡水养殖和育苗生产中有着广泛的用途，目前只在其中的部分领域某些方面的试验和应用，已经显示出其重要意义和作用。可以看出，臭氧若在水产业的各个领域广泛的推广应用将会产生巨大的经济社会效益，对建立高效水产养殖和育苗业将产生巨大的推动作用。因此，建议应进一步开展和深入进行臭氧在水产业各领域的应用研究，为在水产生产中全面的科学的应用臭氧技术奠定坚实基础。

6.2 应用臭氧对养殖、育苗水体进行处理，是一个很有发展优势的水处理方法。在生产中应用可以有效解决水质污染问题，而应用臭氧对水进行处理后无任何残留及毒副作用，臭氧是世界上最洁净的消毒净化剂。建议有关部门进行组织，在水产业广泛推广应用臭氧技术，是对发展健康、高产、高效渔业的一个有力的促进。

6.3 臭氧发生器是臭氧水处理器的核心部件，在目前已取得成果的基础上应进一步研究，使设备性能进一步提高功能进一步完美。要投入资金对新一代产品进行开发，在产品的标准化、系列上下工夫，进行批量生产尽快形成水产环境设备产业，为工厂化水产养殖和育苗生产提供基础设施，是发展健康、节水渔业的必要措施。

强制湍流双作用高效臭氧水处理系统

在水产育苗和养殖中的应用研究

(农业部重点科研项目)

技术总报告

执笔 朱福庆

前言: 臭氧为淡蓝色气体。1785 年被发现, 1840 年由德国人 Schorbein 命名, 至今已广泛应用于化工、石油、纺织、食品、制药和环保等部门。1905 年, 臭氧开始在水处理方面得到应用。在国外, 臭氧在水产方面进行了多项研究和报道, Honn 和 Chavin 1976 年^[1]证明了利用臭氧处理养殖海水可以有效改善水质和防止病害发生。F.Thurbeg, M.Dawson and M.Beckage 等^[2]证明了臭氧去除赤潮水毒性是一种有效的方法。Wkym Murphy 提出^[3]在闭路海水系统中使用臭氧, 可以有效地减少细菌含量, 脱除污染海水的色度, 降低 BOD 和 COD, 用处理后的海水养殖鲨鱼和海龟等取得很好的效果。Sander 和 Rosenthal 发现^[4], 臭氧水可以改善细胞的呼吸条件, 促进生物的生长。J.M.Tipping 1987 年^[5], 使用臭氧水幼苗死亡率由 81.2% 下降到 1.4%, 细菌杀灭率达 98% 以上, 鱼的食物转化率大幅度提高, 幼鱼个体明显大于对照组。在美国臭氧水处理设备已成为一个完整育苗系统中不可缺少的部分。

在国内, 臭氧在水产养殖方面的应用起步较晚。近几年来, 有关研究机构和院校利用臭氧进行了一些应用试验, 如辽宁的鞍山、大连、山东的长岛及福建等地在海参、牡蛎、对虾育苗及鲍鱼养殖中作过一些试验和在生产上进行应用, 取得了一些效果, 同时也遇到一些问题。但终因臭氧发生器设备庞大、臭氧利用率低、系统运行不可控制等问题, 而使用困难或无法应用。但是到目前为止, 国内未见利用臭氧在水产养殖、育苗和病害等方面应用的深入研究和系统报道, 也未有研制或生产出适合水产育苗中实用的高效、廉价、使用简便的臭氧水处理系统。因此, 臭氧在水产育苗和养殖上的应用系统研究, 目前还是一项空白。

目前水产育苗技术将进入到封闭和半封闭的工厂化育苗阶段, 其中关键技术之一是水处理技术。它将直接影响出苗量、苗种质量等。现在各育苗单位对水的处理, 一般采用化学、物理和生物等方法, 具有一定的局限性, 或投资大、或效果不明显、或工艺复杂等, 本项研究为育苗水处理技术提供一个新途径。利用臭氧处理后的水体, 可以大幅度提高鱼、虾、蟹贝幼苗的成活率和活力, 并可促使生长速度加快, 还可以有效控制病害的发生。所有一切,

对提高育苗生产的经济效益、降低成本、提高苗种数量及质量、加速各种名、特、优水产品的繁殖和养殖具有重要意义，是水产育苗和养殖生产实现两高一优的有效途径。

经过三年的努力，在各级领导关心和协作单位密切合作下，完成和超额完成了合同所规定的各项技术和经济指标。现将几年来的研究工作总结如下：

1 臭氧水处理系统的研究

一个完整的臭氧水处理系统，主要由臭氧发生系统和气水混合系统两大部分组成。目前，国内生产的臭氧发生器普遍存在体积和重量大、产生臭氧的浓度和效率低。因此针对水产育苗及养殖的特点，采用先进技术，提高臭氧浓度、产量、效率，研制出体积小、重量轻、性能先进，适于水产行业应用的高效臭氧设备有着重要意义。针对水产养殖用水臭氧处理最佳系统的设计，还应最大限度地获得臭氧对水处理后所得到的消毒净化效果。在水产养殖水处理系统中，必须对水中的微生物，对有毒有害物质（包括无机物和有机物）能有效去除和降解。生产臭氧需要耗费大量的电能，因此在臭氧水处理系统中，臭氧与水充分作用以达到臭氧的充分利用，是设计高效臭氧气水反应器的一个十分重要的问题。

1.1 高效臭氧发生器的研制

1.1.1 设计原理及需要解决的问题

目前工业上臭氧的生产主要采用电晕放电法；即在一对电极间隔以介电体（通常采用玻璃）和气隙。当外加交流高压时，随着电压值的升高气隙中发生电晕放电，气体被电离。间隙中氧离子化浓度急剧增加，氧离子同氧分子以及氧离子相互之间反应生成臭氧。当前典型的电晕放电臭氧发生器，用空气源产生 1kg 臭氧（浓度 1%）约耗 16 kW·h 电能。电能利用率很低，只有 5% 左右，其余都以热、声、光等形式消耗了。因此研究提高臭氧发生器件的效率问题，有着重要的意义。

从电工学科方面，我们对电晕放电室的结构尺寸、介质材料及供电电源三个方面进行了研究。从对放电室内放电的功率方程式和放电间隙电容计算公式的分析可以看出，提高臭氧发生器的效率，可以从以下几个方面着手：

- (1) 在较高的频率下运行；
- (2) 采用较薄且介电常数高的介电材料；
- (3) 在较高的峰值电压下运行；
- (4) 采用较窄的放电间隙。

提高驱动电压可有效地提高臭氧产量，但受介质绝缘强度限制，增加介质厚度和气隙不利于散热并影响发生器效率。一般工程上采用的电压为几千伏到十几千伏。因此，目前臭氧发生器的产品发展趋势是朝向介电性能更好、更薄的介电体；更窄的电晕间隙和更高的运

行频率。

1.1.2 设计特点和性能

1.1.2.1 设计特点。近年来，国际上提出采用瓷介质作为放电室的介电体^[7]，我们考虑制作工艺和材料特性等多种原因，采用 TC 复合材料作为放电室的介电体；将应用 TC 介电体臭氧发生器放电室设计为内管式结构；供电电源采用了清华大学专利技术，专利号为 CN87107561.X。电源采用高频逆变电路，它使发生器的臭氧产率 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) 比常用的工频电源提高 6 ~ 8 倍，还可以大幅度的减小发生器的体积和重量。

采用 TC 复合材料的电气强度比较高，击穿电压为 17.9Kv/mm，能满足放电室内电晕放电的要求，但是 TC 材料的介电常数值为 5.15，比目前常用的玻璃介电体还要高近一倍。应用于放电室中，将有较高的臭氧产量。

电源电路采用可控硅控制的充放电来获得高频电压，虽然电源的频率是中频 (200~700Hz)，但在放电时加在放电室两端的衰减振荡频率却是 10~20kHz 以上的高频。这样的设计保证了频率参数足够高，能产生较高的放电功率，使放电效率提高。

1.1.2.2 性能测试。在频率 600Hz 时的臭氧产率和电耗情况下，TC2 号介质电体放电室臭氧产率为 $262.79\text{g}/\text{m}^2$ ，电耗为 $6.48\text{kw} \cdot \text{h}/\text{kg} \cdot \text{O}_3$ 而玻璃介电体放电室臭氧产率为 $182.81\text{g}/\text{m}^2$ ，电耗为 $11.26\text{kw} \cdot \text{h}/\text{kg} \cdot \text{O}_3$ 。

试验表明，结构合理的 TC 介电体臭氧发生器，同玻璃介电体发生器相比，臭氧产率明显提高，电耗明显降低。因此，提出采用 TC 材料介质，合理选择放电室结构，结合采用高频逆变电源是进一步提高水处理用大功率臭氧发生器效率的有效途径。

1.2 湍流式双作用气水混合器的研制

1.2.1 系统设计依据

在水产养殖及育苗生产应用的水处理系统，其设计依据和设计对象的选择，应以养殖及育苗中实际水质状况为基础，要充分考虑水体中的生物指标和理化指标，使之达到水产生物生长繁殖所要求的指标为标准。以此为依据来确定臭氧投加量、气水接触时间，选择系统配套和进行设备的结构设计，使其具有最优的处理效果和最佳的经济性能。

1.2.2 系统结构与特点

根据水处理应用的实际要求，设备应具有较小的体积与有效的气水混合功能；在不影响混合效果的条件下，水流量连续可调及臭氧投加量连续可调；在一定的条件下具有水渣分离功能。鉴于上述要求，整个系统采用循环混合双级作用结构形式，具有两次湍流混合与液气液双作用功能。

1.2.3 设计原理与功能

(1)应用湍流混合原理提高混合效率。系统中的混合部件是以流体力学中湍流混合理论为基础,以强制措施极大地增加流体的湍流程度,增加气液接触相界面积,强化湍流强度,以实现高效气水混合的目标。

(2)应用自由射流的有效射程原理,即不同介质密度射流混合长度变化的特性,以此为依据确定了液气液混合器的结构,以强化混合效果。

(3)应用扩压器增效原理减小其出口介质的动能,通过其后端装上损失系数为 ξ_0 的扩压器,其流通能力可以提高。降低混合器损耗。

(4)通过在扩压器出口加后端管的设计^[6],可以进一步提高扩压器效率 η 。

(5)应用撞击反应原理可增加传质面积并促进液滴表面更新;使气液传质进一步强化。

1.3 系统功能与应用效果

以高效臭氧发生器、气水混合器为基础分别研制出 QT—5、QT—20、QT—50 三种型号,适用于水产养殖的高效臭氧水处理设备。

1.3.1 QT 系列臭氧水处理器系统特点与功能。

(1)系统以高效臭氧发生器、气水混合器的合理组合使整机的体积和重量大幅度减小,结构紧凑,安装维护方便;

(2)系统的水处理量和水中的臭氧投加量可以灵活调节,可以满足不同的应用条件,达到最佳工作状态;

(3)具有瞬间杀菌灭藻的功能;在特定条件下还具有水渣自动分离功能;

(4)混合器在净化水的同时还可以有效向水中充氧,使处理过的水中溶解氧达到饱和状态。

1.3.2 在生产条件下对 QT—20 型的主要性能进行测试^[1]:

(1)臭氧的利用率为 95.68%;

(2)在气水混合器吸入空气量为 $8\text{ m}^3/\text{h}$ 与 $0\text{ m}^3/\text{h}$ 时的工作情况进行比较,其对臭氧的溶解度基本相同,可以说明对臭氧有较高的溶解效率。

(3)对一般育苗用海水,在处理水量为 $20\text{ m}^3/\text{h}$ 条件下,细菌杀灭率在 92%以上;在处理水量为 $16\text{ m}^3/\text{h}$ 条件下,细菌杀灭率可达 98%以上。当臭氧在海水中的投加量达 $2\text{ g}/\text{m}^3$ 时,灭菌率可达 99.5%以上。

2 中华绒螯蟹育苗臭氧技术的研究

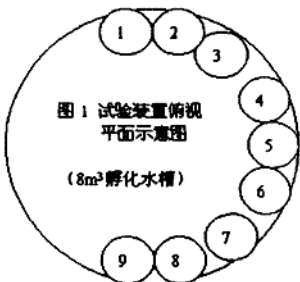
2.1 臭氧处理水培育中华绒螯蟹苗优化条件的试验研究^[1]

目前河蟹育苗工艺都采用静水充气、开放式工艺。每天需要更换大量海水,以增加育苗池中的溶解氧来改变水质污染程度,育苗的同时还需使用药物来抑制致病菌的繁殖。但到育

苗后期, 池底有机质沉积过多, 造成池水下层氧债高, 池底沉积物腐变呈黑色, 致病菌大量繁殖, 水质恶化, 造成幼体大量死亡。因此, 利用经臭氧处理后的水体来维持良好的生态环境, 为河蟹幼体提供一个良好的水环境已成为河蟹育苗成败关键。

为此进行臭氧处理水量、育苗密度、换水量三因素三水平正交试验, 并利用灰色系统关联度分析方法, 分析因素之间作用关系, 以期获得臭氧水添加量, 育苗密度、换水量的合理组合、验证臭氧在河蟹育苗中的作用, 总结出臭氧处理水进行河蟹工厂化育苗的优化工艺。

该试验于 1997 年 3—4 月在塘沽塘宁水产育苗进行试验用的“臭氧水”是由天津市水产研究所和清华大学共同研制的 QT—20 臭氧水处理装置生产。臭氧投加量为每立方米水体 1~1.5g, 采用 8m³ 圆形水槽一个。槽内放水调温后将 9 个 $\phi 300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 圆形玻璃水槽沿大小槽内壁均匀排放, 保证每个试验水槽受热均匀, 温度一致 (见图 1)。



2.1.1 正交试验设计

试验因素的确定: A—臭氧水添加量; B—幼体密度; C—换水量。试验水平确定: 每个因素设三个水平, 见表 1。试验分组方案: 采用 $L_9(3^4)$ 正交表共设 9 个试验组, 试验

表 1 臭氧育河蟹苗试验因素水平表

因素 水平	臭氧水添加量 A %	培育幼体密度 B 万只/m ³	换水量 C %
1	A ₁ 0	B ₁ 15.66	C ₁ 20
2	A ₂ 50	B ₂ 23.49	C ₂ 25
3	A ₃ 100	B ₃ 31.32	C ₃ 33

设计方案见表 2。试验期间投喂饵料种类为单胞藻、蛋黄、酵母、螺旋藻粉、轮虫及卤虫无节幼体。每天测定一次 pH 值、盐度, 隔天测定一次溶解氧。Z₁—Z₂ 和 Z₃—大眼幼体期间, 对氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、耗氧量和细菌总数等指标进行测定。

表 2 臭氧育河蟹苗正交试验方案表

因素 试验号	臭氧水添加量 A %	培育幼体密度 B 万只/m ³	换水量 C %
1	A ₁ 0	B ₁ 15.66	C ₁ 20
2	A ₂ 50	B ₁	C ₂ 25
3	A ₃ 100	B ₁	C ₃ 33
4	A ₁	B ₂ 23.49	C ₂
5	A ₂	B ₂	C ₃
6	A ₃	B ₂	C ₁
7	A ₁	B ₃ 31.32	C ₃
8	A ₂	B ₃	C ₁
9	A ₃	B ₃	C ₂

2.1.2 试验结果

试验所用时间 16 天, 河蟹大眼幼体出苗情况试验结果见表 3, 水化学细菌总数测试结果见表 4。

表 3 河蟹大眼幼体出苗试验结果

试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
出苗量 (只)	436	506	572	425	510	550	531	561	534
出苗率 (%)	18.5	21.4	24.4	12.1	14.5	15.6	11.3	11.9	11.4
活力状况	正常	正常	正常	差	较差	较差	较差	较差	较差

2.1.3 灰色系统关联度分析

利用灰色系统关联度分析方法, 计算出水质生化条件对出苗量影响的关联度, 排出关联