



# 水产养殖 废水治理技术

何连生 蒋进元 孟睿 等/编著

TREATMENT TECHNOLOGIES OF  
AQUACULTURE WASTEWATER

中国环境科学出版社



02462057

# 水产养殖废水治理技术

何连生 蒋进元 孟睿 等编著

中国环境科学出版社·北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

水产养殖废水治理技术/何连生, 蒋进元, 孟睿等  
编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2010.12

ISBN 978-7-5111-0349-9

I. ①水… II. ①何… III. ①水产养殖—废水处理 IV. ①X714

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 245748 号

责任编辑 陈雪云  
责任校对 扣志红  
封面设计 玄石至上

---

出版发行 中国环境科学出版社  
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.com.cn>  
联系电话: 010-67112765 (总编室)  
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司  
经 销 各地新华书店  
版 次 2010 年 12 月第 1 版  
印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷  
开 本 787×960 1/16  
印 张 8  
字 数 145 千字  
定 价 28.00 元

---

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

# 前 言

随着世界人口的增长和科学技术的发展，一度被称为“不可枯竭”的渔业资源变得日益稀缺。为满足人类对优质蛋白质的需求，各主要渔业国家更加关注水产养殖业，使其迅速成为世界食品生产中发展最快的产业之一。特别是我国的水产养殖业，近年来在全球动物性食品生产中增长最快。但是，由于养殖过程中存在大量饵料投入、大量用药和大量换水等一系列问题，使得养殖水环境污染日益严重，养殖环境恶化引起病害频繁发生，养殖产品质量下降。

传统的养殖废水处理包括物理净化技术、化学净化技术、微生物净化技术，以及最近发展起来的大型藻类及底栖动物净化技术、人工湿地及稳定床净化技术、固/液分离技术、泡沫分离技术、微孔膜过滤技术、臭氧处理技术、紫外线照射消毒技术和生物过滤技术等。本书对各种相关的养殖污水处理技术做了较详细的介绍。同时水产养殖废水处理相对于普通的污水处理而言，污染物种类少、含量变化小、生化过程耗氧量低；水产养殖废水处理的水质范围、排水标准要细致、狭窄得多；水产养殖废水处理除了要满足排放标准外，还要满足循环利用节约水资源以及改善水产养殖环境的要求。因此原位的生物修复和异位处理回用技术得到重视，研究不断深入，新的成果不断出现，编者结合自己的研究成果对新的技术进行了总结。

本书共分为6章，第一章对水产养殖过程中产生的问题进行了分析，并结合水产养殖废水的特性提出了一些对策；第二章至第四章分别介绍了物理、化学及生物净化水产养殖废水的技术及应用实例；第五章通过4个实例分析了循环养殖水利用技术的应用及原理；第六章介绍了两个国家高技术研究发展计划（“863”

计划)课题《固定化菌藻—复合生态床联合修复水产养殖环境的技术研究》(编号: 2006AA10Z411)和《脱氮除磷工程菌修复封闭循环养殖水环境技术研究》(编号: 2008AA10Z406)的进展和部分成果。两个课题通过系统模拟和示范工程相结合的方法,研制出了净化水产养殖废水的微生物制剂和基因工程菌,并开发了微生物发挥作用最佳的固定化方法和固定化材料。

本书第一章由石瑞雪、李必才执笔,第二章由李必才执笔,第三章由石瑞雪执笔,第四章由何连生、孟睿、袁东海执笔,第五章由李必才、蒋进元执笔,第六章由何连生、孟睿、蒋进元执笔。

由于编者水平有限,书中缺点、错误和不足之处在所难免,欢迎读者批评指正!

何连生  
2010年12月

# 目 录

<b>第一章 水产养殖废水问题分析及对策研究</b> .....	1
1.1 水产养殖现状.....	1
1.2 水产养殖模式.....	3
1.3 水产养殖废水特性.....	6
1.4 水产养殖废水产生的原因及分析.....	10
1.5 水产养殖废水对环境的影响.....	12
1.6 防治水产养殖废水对环境影响的对策.....	14
1.7 水产养殖废水处理技术与传统污水处理技术的比较.....	17
<b>第二章 水产养殖废水物理净化技术</b> .....	19
2.1 曝气、吹脱和气提法.....	19
2.2 沉淀法.....	19
2.3 过滤法.....	20
2.4 吸附法.....	20
2.5 臭氧处理法.....	21
2.6 紫外线照射法.....	21
2.7 泡沫分离、磁分离法.....	22
2.8 实例 泡沫分离—臭氧消毒装置处理闭合循环水产养殖系统废水.....	22
<b>第三章 水产养殖废水化学净化技术</b> .....	25
3.1 漂白粉消毒法.....	25
3.2 生石灰消毒法.....	25
3.3 絮凝剂和助凝剂沉降法.....	26
3.4 强氧化剂消毒法.....	27

<b>第四章 水产养殖废水生物修复技术</b> .....	29
4.1 微生物修复技术.....	30
4.2 藻类在净化水产养殖废水中的应用.....	39
4.3 大型藻类和底栖动物生物净化技术.....	52
4.4 生态处理和修复技术.....	57
<b>第五章 水产养殖废水循环处理利用技术</b> .....	69
5.1 实例 1 水产养殖废水循环利用及多余藻类生物量资源化.....	69
5.2 实例 2 臭氧/生物活性炭深度处理循环养殖废水.....	70
5.3 实例 3 北京市某企业水产养殖废水循环利用工程.....	71
5.4 实例 4 北京市某渔场封闭循环养殖工程.....	72
<b>第六章 水产养殖废水微生物—生态治理技术</b> .....	74
6.1 固定化菌藻—复合生态床联合修复水产养殖环境的技术研究.....	75
6.2 水产养殖废水处理中硝化基因工程菌的构建与应用.....	93
<b>参考文献</b> .....	113

# 第一章 水产养殖废水问题分析及对策研究

## 1.1 水产养殖现状

水产养殖是人为控制下繁殖、培育和收获水生动植物的生产活动。一般包括在人工饲养管理下从苗种养成水产品的全过程，广义上也可包括水产资源增殖。水产养殖有粗养、精养和高密度精养等方式。粗养是在中、小型天然水域中投放苗种，完全靠天然饵料养成水产品，如湖泊水库养鱼和浅海养贝等。精养是在较小水体中用投饵、施肥方法养成水产品，如池塘养鱼、网箱养鱼和围栏养殖等。高密度精养采用流水、控温、增氧和投喂优质饵料等方法在小水体中进行高密度养殖，从而获得高产，如流水高密度养鱼、养虾等。

随着世界人口的增长和科学技术的发展，一度被称为“不可枯竭”的渔业资源变得日益稀缺。为满足人类对优质蛋白质的需求，各主要渔业国家更加关注水产养殖业，使其迅速成为世界食品生产中发展最快的产业之一。特别是我国的水产养殖业，近年来在全球动物性食品生产中增长最快。

中国的水产品产量居世界首位，是世界上唯一的水产养殖产量超过捕捞产量的国家，养殖产量自 20 世纪 80 年代中后期进入快速增长期，并且一直带动世界水产养殖的增长，在 20 世纪 90 年代初期我国水产养殖总量超过世界其他国家的总和。1999 年我国水产养殖总量为 1 900 万 t，占全世界养殖总产量的 60%；2001 年我国水产养殖总量为 2 726 万 t，占全世界养殖总量的 62%；2003 年我国水产养殖总量达 3 865 万 t，占全世界养殖总产量的 70.52%；2006 年，我国水产养殖总量约 5 290 万 t，占全世界养殖总产量的 40%。

经过近几十年的发展，我国水产品供给状况得到了根本改观，目前我国内陆可养殖水面有  $6.67 \times 10^4 \text{m}^2$  以上。其中，淡水养殖主要集中在湖泊、水库、河流、池塘，珠江三角洲基塘系统、南方以及西南省份的稻田水产养殖系统也很普遍。养殖品种除传统的“四大家鱼”外，又增加了鲤、优质鲫、罗非鱼、加州鲈、鲟、



罗氏沼虾等新品种。养殖方式从传统的粗养向精养、集约化、规模化方面发展，建立起了养殖基地、苗种基地、饲料基地；从单养殖向混养、间养、套养、立体养殖发展。通过大力发展海、淡水养殖业，使我国水产品供给能力迅速提高，20世纪90年代前期就已基本解决了大中城市“吃鱼难”的问题。

全国从事水产养殖的劳动力达1 000万人。在减轻农村贫困、改善生计和粮食安全、维护自然和生物资源的和谐统一及保持环境的可持续性方面起着重要的作用。

### 1.1.1 淡水养殖

淡水养殖是指利用池塘、水库、湖泊、江河以及其他内陆水域（含微咸水），饲养和繁殖水产经济动物（鱼、虾、蟹、贝等）及生产水生经济植物，是内陆水产业的重要组成部分。我国淡水养殖历史可追溯到公元前11世纪。公元前5世纪已有《养鱼经》问世。淡水养殖是人类获得动物性蛋白质来源的重要途径之一。淡水养殖一般面积较小而分布广泛；适于精养，集约化程度较高，有利于人工管理和控制；以鱼类养殖为主，生产水平较高；产量较稳定，投资小，收益大。

按养殖场所分为池塘养殖、湖泊养殖、江河养殖、水库养殖、稻田养殖、工厂化养殖、网箱养殖、微流水养殖等；按集约化程度分为粗养、半精养和精养。养殖的对象主要为鱼类，养殖的虾类有罗氏沼虾、海南大虾等，养殖的蟹类主要是河蟹。

目前，中国淡水养殖鱼类主要包括：青鱼、草鱼、鲢、鳙、鲤、鲫、鳊、鲂、鲮、非鲫等经济性鱼类，近年来还增加了虹鳟、银鲑、白鲫、罗氏沼虾、中华绒螯蟹、淡水珍珠贝等。

### 1.1.2 海水养殖

海水养殖是利用浅海、滩涂、港湾、围塘等海域进行饲养和繁殖海产经济动植物的生产方式，是水产业的重要组成部分，是人类定向利用海洋生物资源、发展海洋水产业的重要途径之一。

我国海水养殖历史较悠久，早在汉代之前，就进行牡蛎养殖，宋代发明了养殖珍珠法。20世纪70年代以来，因传统近海渔业资源出现衰退，许多沿海国家相继宣布实施200海里经济区和专属渔区，促进了海水养殖业的发展。

按照国际统计标准计算，目前我国已经成为世界海水养殖第一大国，无论从养殖面积（1 579 km<sup>2</sup>，2008年）还是总产量来说，均居世界首位。我国海水养殖业近30年里得到了快速发展，1990年超过300万t，2008年上升到1 340万t，

约占世界海水养殖总产量的 2/3。我国海水养殖业的大发展主要得益于浅海贝类和藻类养殖的兴起,如在 2008 年的海水养殖产量中贝类产量(1 008 万 t)约占总产量的 75%,大型藻类(138 万 t)约占 10.3%,二者相加占了我国海水养殖产量的 85%以上,而鱼类(74 万 t)和虾蟹类(94 万 t)仅占 5.5%~7%。可见,我国海水养殖业还是一个以贝藻养殖为主的行业,在品种上还有很大的发展余地。

## 1.2 水产养殖模式

### 1.2.1 淡水养殖模式

淡水养殖主要有两种类型:一类是池塘精养鲤科鱼类,以投饵、施肥取得高产,并将各种不同食性的鱼类进行混养,以充分发挥水体生产力。另一类是在湖泊、水库、河沟、水稻田等大、中型水域中放养苗种,主要依靠天然饵料获得水产品。

#### (1) 传统养殖模式

①池塘养鱼。一般指在面积较小的封闭水体中的鱼类养殖。这种经常处于静水状态的小型水体,多由人工开挖或天然水潭改造而成,面积一般数亩到数十亩,是中国历史上最早的一种养鱼方式。池塘水体较小,水质容易控制,养殖技术也易掌握,是历来群众性养鱼的主要方式。池塘养鱼具有静水养鱼的特点,适宜不同栖息习性和食性的种类进行混养,可以充分利用水体诱饵,同时还可以使用施肥的方法来培养天然饵料,特别适宜于发展中国家的农业现状。

②湖泊、河道养鱼。指在中小型湖泊或河道的进出水口建筑拦鱼设施进行养鱼。主要利用天然饵料,辅以人工施肥投饵。

③水库养鱼。利用各种类型的水库养殖鱼类。在小型的农田灌溉水库,凡可以防逃、容易捕捞的,可采取池塘养鱼方式。一般较大的平原水库,常采取湖泊、河道方式经营。大型综合水库,主要繁殖保护鱼类资源,辅以少量的人工放养。在水库的库湾修建堤坝或拦网,将其与水库主体部分分开,在被拦的库湾中养鱼,可以有效地提高整个水库的渔业产量。

④稻田养鱼。利用水稻田进行养鱼,既可增加鱼产量,又可消除稻田中的害虫、杂草,疏松土壤,肥沃稻田,增加水稻产量。用于养鱼的稻田必须水源充足,田埂坚实,稻田进出口要有拦鱼设备,田内要开挖鱼沟和鱼溜。

⑤工厂化养鱼。运用机械的、电气的、化学的、自动化的现代设施,在水质、水温、水流、溶氧、光照、投饵等各方面进行人为控制,创造和保持最适宜于鱼

类生长和发育的生态条件,使鱼类的繁殖、苗种培养、商品鱼的养殖等各个环节都处在人工控制的水体环境中进行无季节性地连续生产。工厂化养鱼主要有自流水式、循环流水式和温流水式。

工厂化养殖水处理系统的设计原则、工艺路线、技术要求及工程设施直接代表了集约化养殖的技术水平。工厂化水产养殖技术在近 20 多年来,在国内外得到了迅速的发展,其中主要就是采用循环水养殖,将全部或部分养殖废水进行处理后再次投入养殖使用,大大节省了水资源,减少了废水排放量,并且继续朝着“零排放”的目标不断发展。

⑥网箱养鱼。用纤维网片、金属网片等材料缝制成长方体、圆柱体等具有一定形状的箱体,将其架设在较大水体中,使箱体内外水体可以自由交换,在这样的箱体环境中养鱼就叫网箱养鱼。网箱养鱼是近 20 年出现的一种新兴的现代化科学养鱼技术,目前国内外已广泛地应用在水库、湖泊、河道等大中型水域中培育鱼种和饲养各种经济鱼类。

### (2) 高位池养殖模式

高位池养殖模式又称为提水式精养模式,是在海水高潮线以上的沙滩建造养殖池开展养殖,较传统的滩涂围垦挖池养殖模式最大的区别就是将养殖池建在海岸线以上的沙滩上,不论高潮、低潮都能把池内水体排干。

高位池一般为圆形或四角为弧形的方形池,面积通常为  $0.27\sim 0.33\text{hm}^2$ ,池体高 2m 以上,可容纳水深度 2m 左右,池壁可以用水泥铺砌,也可以在整个池子的内壁铺上一层塑料膜,后一种方式可以防止漏水,同时隔离土质对池水的不良影响,还便于池体的清淤消毒。池底多为锅底状,配置增氧机,利用中央排污口或其他设施排出池内养殖生物的粪便、残饵及其他有机碎屑等,从而使池底经常保持良好的清洁状态,利于养殖生物栖息和生活。

高位池养殖密度大,水质容易控制,易管理,产量也相对土塘有大幅提高,由于没有成分极其复杂的底质、寄生虫、泥浆等致病或不利因素存在,用药效果也较好。但高位池建造费用高,且由于没有底质的缓冲作用,水质容易变化,对管理要求高,养殖密度大,管理不当很容易造成惨重损失。另外,随着养殖密度的增大,对增氧设备的质量和数量等都有较高要求,水泵、管道(换水)等也随之增多,成本较高。近年,高位池在我国广东、海南、广西发展很快,并逐渐向福建和江浙沿海等地发展。

## 1.2.2 海水养殖模式

海水养殖按养殖区域可分为:滩涂养殖、浅海养殖和港湾养殖;按养殖方式

分为：筏式养殖、网箱养殖和底播养殖等；按空间分布分为围塘、海涂、港湾和浅海等；按集约程度分为粗养（包括护养、管养）、半精养和精养；按养殖方式分为单养、混养和间养（如海带与贝类间养）等。

### （1）半封闭式养殖

采用封闭式养殖，结合添加海水或者淡水的养殖模式。这种养殖方式能进一步提高养殖成功的可能性。随着养殖进程，水体残饵和排泄物越积越多，水体富营养化趋势逐步加大，完全封闭养殖十分困难，因此，必须加入过滤沉淀消毒处理过的海水或者淡水调节水质，并且配备增氧机，以保持良好的水质环境。

### （2）集约化养殖

利用先进的调控手段进行高密度养殖的一种生产形式。集约化水产养殖又分为非投饵集约化养殖和投饵集约化养殖两种。

①非投饵集约化养殖。非投饵集约化养殖生态系统常见的有海藻养殖系统、贝类养殖系统等。对于海藻养殖系统，人们只需投入苗种，即可利用太阳能和水体的营养物质生产出经济产品，在一定程度上减轻水体的营养负荷。但在集约化养殖条件下，海藻有可能影响到水体的碳酸盐平衡，导致养殖海区局部水域 pH 值升高。此外，密集的藻体还会阻碍水流、降低海水交换速率。

②投饵集约化养殖。投饵集约化养殖主要有网箱养殖和池塘养殖两种形式。饵料是网箱精养鱼类的主要营养来源，但无论是以小杂鱼粉碎而加工成的鱼糜还是研制的配合饲料，投喂后都不能被充分利用。未摄食部分和鱼类粪便进入水体，沉积到水体底层，造成了严重的水域环境污染。以饵料和鱼苗形式人为输入海水网箱养鱼系统中的氮只有 27%~28% 通过鱼的收获而回收，23% 积累于沉积物中。底质中有机物富集的效应之一便是其中的异养有机体耗氧增加，对沉积物进行分解，释放氮、磷等无机营养物，刺激水生植物和藻类的生长。

### （3）封闭式养殖

利用在陆地修建的圆形或跑道式水泥池或塑料大棚进行工厂化养殖，其放养密度一般很大，整个养殖过程中池水除自然蒸发和吸收底污损失需少量补充外，不再换水。

### （4）综合养殖

利用生态平衡原理对养殖废水采用物理处理、生物降解、微生态调控等现代无公害健康养殖的新技术以保证养殖用水的质量，重复利用净化后的海水可节约水源和能源，使大批原有的旧养殖池得到改造。

该养殖模式从优化养殖系统的结构入手，变单种养殖为多种综合养殖，把在生态环境与资源利用上具有互补作用的经济水生生物以合理的比例养殖于多个串

联的养殖区内。通过优化的有益微生物群落、微藻群落定向培养，对水质进行生态调控，进一步净化水质，每个养殖区既是生产区又是生物净化区，具有生产产品和净化水质的双重功能。

### (5) 网围和网箱养殖

网围养殖又称半蓄水养殖，是指半堤半水的池塘，涨潮时海水漫堤而入，退潮后池内仍能保留一部分海水，即每天由于潮水的涨落更新池水，故池内水质条件较好，单位面积产量可以超过一般的池塘养殖。

网箱养殖即在风浪较小的海湾内，用钢架或竹架浮于水面，扎上网箱进行养殖。养殖过程中，要随着苗种的成长，更换数次箱网，以减少附着物的影响。

## 1.3 水产养殖废水特性

为贯彻执行《环境保护法》、《水污染防治法》和《海洋环境保护法》、《渔业法》，防止和控制渔业水域水质污染，保证鱼、虾、贝、藻类正常生长、繁殖和水产品的质量，我国制定了《渔业水质标准》(GB 11607—89)，适用于鱼虾类的产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道和水产增养殖区等海水、淡水的渔业水域。

### 1.3.1 水产养殖废水主要水质指标

#### (1) pH 值

pH 值是水质的重要指标。淡水养殖 pH 值一般控制在 6.5~9.0，海水养殖 pH 值一般控制在 7.5~8.5。pH 值过高或过低，对水产养殖动物都有直接的损害，甚至会造成死亡。pH 值低于 6.5 的水可使水产养殖动物血液中的 pH 值下降，削弱其血液载氧的能力，造成水产养殖动物患生理缺氧症，即使水中的溶解氧较高，鱼虾等水产养殖生物的生长和健康仍然会受到严重的影响。pH 值过高的水则可能腐蚀鱼虾鳃部组织，使鱼虾等养殖对象失去呼吸能力而大批死亡。在养殖过程中如果仅仅投加饵料而无其他特殊的药剂，则水体的 pH 值与进行养殖之前相比变化不大。淡水养殖废水的 pH 值通常都在 7~8；海水中存在大量的离子，它们在水中形成的动态缓冲平衡使海水的 pH 值容易保持稳定，基本上在 7.5~8.5，即使是高密度的养殖场，其出水 pH 值通常也不会超过 8.8，已达到Ⅲ类海水水质的要求。要达到Ⅰ、Ⅱ类海水水质或者养殖回用的标准要求，只需用弱酸稍加调节即可。

#### (2) 溶解氧

溶解氧(DO)是水产养殖动物的生命要素。水产养殖动物在水中需要呼吸

氧气,轻度缺氧时鱼虾会出现烦躁、呼吸快等生理反应,生长速度会变慢,影响养殖对象的生长发育,严重缺氧时还会造成水产养殖动物死亡。水中的溶解氧过高则会引起鱼虾患气泡病。养殖水域中的溶解氧应保持在 $5\sim 8\text{ mg/L}$ 范围内,至少要保持在 $4\text{ mg/L}$ 以上。大多数种类污水的化学耗氧量和生化耗氧量的值非常高,降解的主要过程要消耗大量氧气,而水体的溶解氧是有极限的(饱和值)。于是给水体增氧,成为污水处理的一个非常重要的环节,并且伴随污水处理整个过程。许多污水处理设备等产品也都是为适应这个要求设计的。在养殖的过程中,通常都要对养殖水体充氧以保证养殖对象的生长需求,因而大部分养殖废水中的DO一般在渔业水质标准要求的 $4.5\text{ mg/L}$ 以上。因此,溶解氧不是养殖水处理的制约因素。如果投加的一些微生物制剂通过自身的生长能向环境释放氧气的话,那么就可以节省人工供氧的消费。

### (3) 有机物

养殖水体中的有机物主要由残饵、浮游生物的代谢产物及养殖动物的排泄物分解产生。有机物在浓度不高及溶解氧充分的情况下,对鱼类的生长影响不大,但当水体中有机物含量过高时,常导致水质恶化,鱼类生长缓慢甚至死亡。与氮、磷等可溶性污染物相比,有机物的处理难度要小得多。若采用生物的方法来处理养殖废水,水体中的有机物在几个小时之内基本上就可以完全去除。

### (4) 氨氮

氨氮是废水中最常见的污染物。养殖水体中氮的来源主要是饵料残余和粪便等排泄物的分解;其次为老化池塘底泥沉积物的氨化分解;再次则是施肥的积累。氨是一种有刺激性的气态碱性化合物,其中氨气很容易和水分子松散结合为 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ 和 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ,两者通称非离子氨。氨氮在水体中以非离子态和离子态 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 两种形式存在。其含量主要取决于水体的pH值、温度、盐度等因素,当 $\text{pH}<7$ 时,几乎都是以 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 离子存在, $\text{pH}>11$ 时,则几乎都是以 $\text{NH}_3-\text{N}$ 分子形式存在。

氨氮对人类最突出的危害就是使水体富营养化,破坏水体生态平衡。大量含氨氮的废水进入水体,水体中的植物营养过剩导致水生生物大量繁殖,主要是各种藻类大量繁殖,有些藻类有毒,使鱼类的生活空间越来越小,影响和破坏水体生态平衡;而且,非离子态的氨氮对养殖对象可以直接产生毒性,影响其生长和发育。

当总氮的含量超过 $0.5\text{ mg/L}$ 时,对鱼有毒害作用。其中非离子态氨是最主要的致病致死因素。非离子氨具有较高的脂溶性,它能破坏鳃组织,通过皮膜进入鱼体,损伤鳃表皮细胞,使血液和组织中氨的浓度升高,降低血液的载氧能力,

导致血液 pH 值升高, 从而引起鱼体内多种酶的活力异常变化, 反映为机体代谢功能失常或组织机能损伤, 使鱼体不能正常反应, 鱼类的生长受到影响, 给水产养殖带来极为严重的后果。非离子态氨浓度在 0.01~0.02mg/L 时, 水产动物会慢性中毒, 生长受到抑制; 浓度在 0.02~0.05mg/L 时, 非离子态氨会和其他造成水产动物疾病的病因共同起加成作用, 加速其死亡; 在 0.05~0.2mg/L 的高浓度下, 非离子态氨会破坏水产动物的皮、胃、肠道黏膜, 造成体表和内部器官出血; 在 0.2~0.5mg/L 的浓度下, 水产动物会急性中毒而死亡。

欧洲内陆渔业咨询委员会 (EIFAC) 认为水生环境中非离子氨应该控制在 0.025mg/L 以内, 美国环境保护局 (EPA) 规定的安全标准为 0.016mg/L, 我国渔业水质标准规定, 水产养殖用水中非离子氨氮不得超过 0.02mg/L。对于水产养殖废水的排放, 目前我国还没有明确的规定。而我国《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 对总氨氮的要求是: 一级标准 15mg/L, 二级标准 25mg/L。目前国内关于养殖排污水还没有统一的法律法规和养殖污水处理的排放标准。大部分研究者主要参照《海水水质标准》(GB 3097—82) 及《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 中的有关规定来评价养殖废水处理是否达到了相应的排放或回用标准。

### (5) 亚硝酸盐

亚硝酸盐对水产养殖对象的危害也有较多的报道。亚硝酸盐是氨在转化为硝酸盐过程中的中间产物。氨氮在转化为硝酸盐的过程中受到阻碍, 中间产物的亚硝酸盐就会在水体中积累, 从而使养殖对象血液中的低铁血红蛋白被其氧化成为高铁血红蛋白, 使之失去输送氧的能力。为保证各种养殖对象的安全, 一般将水中的亚硝酸盐控制在 0.1mg/L 以下。亚硝态氮可转变为对鱼类危害较小的硝酸盐, 硝酸盐最终被水生植物吸收作为营养物质或经过水体交换从池塘中排出。

### (6) 其他污染物

不同的养殖方式和养殖对象使得各种养殖废水中各水质指标体现出不同的重要性。除上述水质指标外, 磷酸盐、硫化氢等污染物也是养殖废水常关注的水质指标。

磷是鱼类必需的矿物元素之一, 是构成骨骼和鱼鳞的必需成分。鱼类可以通过皮肤、鳃和鳍从环境中吸收部分磷。由于水体中磷含量很低, 因此饲料成为鱼类磷的主要来源。但是由于鱼类对饲料原料中磷的消化率变异较大, 而且在商品饲料中无机磷的添加量普遍较高, 导致大量的磷排入水体造成水体富营养化。磷除了是养殖对象生长必需的营养元素之外, 也是微生物和水生植物的营养源。利

用生物法可以快速有效地去除养殖废水中的磷酸盐。

硫化氢是带有臭鸡蛋气味的可溶性有毒气体，它会使养殖对象的生长速度、体力和抗病能力减弱。水产养殖水域中的硫化氢浓度应严格控制在  $0.1\text{mg/L}$  以下。硫化氢的浓度与 pH 值有关，pH 值降低，毒性增大。当 pH 值为 9 时，约有 99% 的  $\text{H}_2\text{S}$  以  $\text{HS}^-$  形式存在，毒性小；当 pH 值为 7 时， $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{HS}^-$  各占 50%；当 pH 值为 5 时，约有 99% 的硫化氢以  $\text{H}_2\text{S}$  形式存在，毒性很大。水产养殖水域产生硫化氢的原因主要是存在于养殖水域底层的硫酸盐还原菌在厌氧条件下分解硫酸盐以及异养菌分解残饵或粪便产生的有机硫化物。控制硫化氢具体措施是提高水中含氧量，严重的鱼池可泼洒快速增氧的各种制剂。

### 1.3.2 水产养殖废水中污染物的主要来源

在水产养殖过程中，养殖用水原有的体系中浮游植物、藻类等初级生产者种类单纯、数量少，不能满足饲养密度高的养殖对象的生长需要，因此要添加大量人工配置的饲料来满足养殖生物的生长所需。人工添加的饲料量营养丰富，可以大大提高养殖生物的生长速率。然而养殖条件下投放的饵料，不能全部被养殖对象有效地利用，剩余的部分以污染物的形式排放到环境中。残余的饵料同养殖对象的排泄物一起进入水体，构成养殖废水最重要的污染物来源。淡水鱼类日粮配方举例见表 1-1。

养殖系统的特性、养殖种类、饲料的质量和管理等因素都会对污水排放的数量和质量产生影响，但在大多数情况下，在饲料中添加的营养物质大部分都会被释放到水环境中。Bergheim 等人研究表明以饲料中氮的含量为 100% 计，双壳贝类排放到水体中的氮占总投入氮的 75%，鲍鱼、鲑鳟鱼和虾类排放到水体中的氮分别占投入氮的 60%~75%、70%~75% 和 77%~94%。水体养殖动物是排氮生物，氮是其排出废物中的主要组成成分。据报道，20 世纪 80 年代欧洲网箱养殖鲑鱼过程中，投入饲料有约 80% 的氮被鱼类直接摄食，而摄食的部分中仅有约 25% 的氮用于鱼类生长，其余的 65% 用于排泄，10% 作为粪便排出体外。这意味着投入的饲料仅有约 1/5 被有效利用，其余部分都以污染物的形式排放到环境中。近些年随着饲料质量的提高，其利用率有所增加，然而由于养殖对象固有的摄食及生长方式，目前并不能从根本上改善饵料残余和排泄物对水质的影响。要满足废水排放或者回用的要求，主要还是借助于水处理的手段。



表 1-1 淡水鱼类日粮配方举例

编号	鱼类品种及 饲养方式	日粮配方组成/%	粗蛋白质 含量/%	饵料 系数
1	夏花草鱼种	鱼粉 5.5, 豆饼 30, 菜籽饼 35, 麦麸 10, 骨粉 1, 食盐 0.5, 4 号面粉 18	28.80	
2	池塘饲养龄草鱼种	鱼粉 18, 豆饼 14, 菜籽饼 12, 大麦 16, 麦麸 15.5, 稻草粉 17.5, 植物油 3, 矿物质 4。另加 1%鱼用多维生素喷雾	26.90	2.23
3	主养草鱼, 混养鲢鱼、鳙鱼	鱼粉 4, 血粉 2, 酵母粉 1, 豆饼 10, 棉籽饼 18, 麦麸 35, 米糠 15, 玉米面 5, 草粉 8, 矿物质 1.5, 食盐 0.5。另加 1%鱼用多维生素喷雾	23.00	1.8
4	池塘饲养龄草鱼种、团头鲂	青草粉 40, 豆饼 10, 菜籽饼 30, 大麦 10, 麦麸 10。另加 1%鱼用多维生素喷雾	22.62	2.47
5	主养团头鲂, 混养草鱼、鲢鱼、鳙鱼	鱼粉 3, 血粉 2, 豆饼 5, 菜籽饼 18, 棉籽饼 20, 米糠 6, 玉米面 8, 大麦 15, 4 号面粉 10, 麦麸 6.5, 预混料 6.5	25.45	2.30
6	主养青鱼, 混养团头鲂、鲢鱼、鳙鱼	鱼粉 35, 豆饼 47.5, 大麦 15, 酵母粉 1, 矿物质添加剂 1.5	43.33	2.26
7	主养鲤鱼, 混养鲢鱼、鳙鱼	鱼粉 15, 豆饼 30, 玉米面 14, 次面粉 23, 预混料 16.8, 无机盐 1, 多维生素 0.1, 蛋氨酸 0.1	31.0	1.50
8	网箱饲养鲤鱼种	鱼粉 35, 豆饼 47.5, 大麦 15, 酵母 1, 矿物质、多维生素共 1.5	43.4	1.85
9	池塘饲养罗非鱼	豆饼 10, 麦麸 49, 菜籽饼 30, 面粉 5, 玉米面 5, 土霉素渣 0.5, 食盐 0.5	25.23	2.66
10	流水饲养罗非鱼	鱼粉 10, 豆饼 25, 麦麸 60, 红薯面 5	24.75	1.50

## 1.4 水产养殖废水产生的原因及分析

### 1.4.1 饵料投加过量和投加方式不合理

在水产养殖过程中饵料的投加和投加方式对水产养殖的质量产生很大影响。对于养鱼饵料的投加方式, 匀、足、好是总体原则。匀是根据鱼的需要量, 每天均匀投喂, 这样不仅可预防疾病, 保证正常生长, 而且可以提高饵料利用效率; 足, 就是最适的投饵量, 满足鱼类的需要; 好, 就是饵料质量优质, 营养全面、适口、新鲜等。定时、定量、定位是基本投喂方法, 同时结合看天气、看水质、