

# 养殖水前处理和絮凝法去除重金属技术的研究进展

管若伶<sup>1</sup>, 符平贺<sup>2</sup>

(1. 海军工程大学舰船与海洋学院, 湖北武汉 430033; 2. 海南热带海洋学院海洋科学技术学院, 海南三亚 572022)

**摘要** 水产养殖用水中含有大量的有害成分, 这些有害成分会对水产养殖生物产生重大危害, 甚至通过食物链等方式对人体产生伤害。对养殖水预处理技术进行概述, 重点阐述了用絮凝技术对微小悬浮物、重金属进行去除的方法以及对絮凝剂进行优化的方法, 旨在为养殖水前处理技术提供理论支持。列举了针对各种污染成分的传统处理方法, 以及对无机絮凝剂、有机絮凝剂、生物絮凝剂 3 种不同类型絮凝剂性能介绍, 通过对比常见絮凝剂性能, 为水产养殖业找寻污染成分去除效果更好、经济代价更低、更适合水产养殖业的养殖水处理方式提供思路。

**关键词** 前水处理; 絮凝剂; 重金属; 去除

**中图分类号** TU 991.2 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)10-0018-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.10.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Research Progress on Heavy Metal Removal Technology by Pre-treatment and Flocculation of Aquaculture Water

GUAN Ruo-ling<sup>1</sup>, FU Ping-he<sup>2</sup> (1. College of Naval Architecture and Ocean Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan, Hubei 430033; 2. College of Marine Science and Technology, Hainan Tropical Ocean University, Sanya, Hainan 572022)

**Abstract** Aquaculture water contains a large number of harmful components, which will cause great harm to aquaculture organisms, even through the food chain and other ways to harm the human body. This paper summarizes the pretreatment technology of aquaculture water, focusing on the method of removing small suspended matter and heavy metal by flocculation technology and the method of optimizing flocculant, which is intended to provide theoretical support for the pretreatment technology of aquaculture water. Also lists the traditional treatment methods for various pollution components, as well as the performance of inorganic flocculant, organic flocculant and bioflocculant, which will provide ideas for aquaculture to find better removal effect of pollution components, lower economic costs, more suitable for aquaculture water treatment.

**Key words** Pretreatment; Flocculant; Heavy metal; Removal

伴随着我国水产养殖业的快速发展, 水产养殖方式从落后的粗放养模式向规模化、集中化转变, 系统化养殖数量和规模急速上升。不合理的养殖方式弊端丛生, 严重影响产量和经济效益。水产养殖设施陈旧、技术含量低, 且并不具备对养殖用水进行处理使其达到生物安全用水标准的功能, 传统养殖模式工程化、设施化水平较低, 已经不能适应现代水产养殖业的发展需求, 这些都制约了我国水产养殖的可持续发展。十九大明确乡村振兴战略, 我国水产养殖业已经进入转换升级关键时期, 对水产品质量安全工作提出更加严格要求。养殖水处理技术就是为养殖水质安全而诞生的技术, 是将不适合养殖水产品的水或将养殖产生的废水通过一系列的方法排除水体中的有害固体、悬浮物、可溶性物质和气体或者使其转换为无害物质并加入所需要的营养物质, 使水质达到鱼类生长需要或可排放标准的技术。

该研究对养殖水污染物的去除方法进行阐述, 重点对重金属的去除技术进行描述, 总结已有养殖水处理技术研究成果, 以期对改进水产养殖用水的预处理方法提供理论支持。

### 1 养殖水前主要污染物处理方法

水体中污染物类型多样, 包括大型的固体废弃物、有毒有害气体、细菌病毒以及重金属污染等, 对于污染水体的净化, 往往需要多种不同的方法协同作用才能对水体进行有效的处理, 各种方法都具有其独特的特点(表 1)。

**基金项目** 海南省自然科学基金项目(520QN278); 三亚市专项科研资助项目(2018KS19); 海南热带海洋学院校级引进学科带头人和博士研究生科研启动项目(RHDXB201810); 海南热带海洋学院教育改革研究项目(RHYJg2021-04)。

**作者简介** 管若伶(1990—), 女, 山东青岛人, 讲师, 博士, 从事海水资源综合利用研究。

**收稿日期** 2021-06-21; **修回日期** 2021-09-22

**1.1 固体废弃物以及大型悬浮物** 对于水体中的一些固态废物或者大型的水生生物, 通常采用的方法是过滤, 常用的过滤方式一般有传统过滤和机械过滤器等。对于水体中的大型悬浮物则会利用其自身的重力效应采用沉淀法, 所以常常设置蓄水池首先进行沉淀处理。

**1.2 有毒有害气体** 水产养殖前水体中对生物有毒有害的溶解性气体主要有氮气、氨气、二氧化碳、硫化氢等, 这些有害气体会导致养殖生物成长停顿致使养殖成本上升, 二氧化碳甚至还会导致产品窒息死亡, 硫化氢是含硫有机物经厌氧细菌分解而形成的, 对养殖产品的健康造成极大威胁。氨气一般为生物的代谢产物, 也具有很大的毒性。

对于水体中的有害气体一般采用曝气的方法去除, 通过曝气的方式, 可将水体中有害气体排出, 采用静置法即将水体静置 48 h 以去除其中的有害气体。或者通过机械装置搅动水体, 这种方法既可以高效地排出有害气体, 又可以为水体增氧。

**1.3 有害细菌、病毒** 为了养殖对象不被水体中的各种有害细菌及病毒影响, 用水过程中的消毒环节是不可或缺的, 用于原水消毒的方法有很多, 如氯气( $\text{Cl}_2$ )消毒、次氯酸钠( $\text{NaClO}$ )消毒、次氯酸钙 $[\text{Ca}(\text{ClO})_2]$ 消毒、氯胺消毒、二氧化氯( $\text{ClO}_2$ )消毒、紫外线(UV)消毒、臭氧( $\text{O}_3$ )消毒等。各种消毒方法均有其优缺点, 在各消毒方法中, 臭氧法和紫外线法因操作简单、成本较低而备受欢迎。

**1.3.1 臭氧法。**臭氧法的应用基础是臭氧具有的强氧化性以及消毒性能, 臭氧作为氧化剂, 除了可以对原水中有害细菌、病毒进行有效的灭杀作用外, 还能对有机物进行氧化使其转化为可降解有机物, 从而使大量含碳有机物质发生分

解,改善水体的污染程度以及提高水体水质。

表 1 水体中各污染物类型去除方式比较

Table 1 Comparison of removal methods for different pollutant types in water bodies

序号 No.	污染物类型 Type of pollutant	去除方式 Removal methods	优点 Characteristic	缺点 Shortcoming
1	固体废弃物、 大型悬浮物	传统过滤	成本低,设备 简单	除污能力比机械 过滤低
		机械过滤	净化能力强, 效率较高	系统较为复杂
2	有毒有害气体	静置曝气	成本较低	耗时较长
		机械搅动	气体逸散较 快,溶解氧含 量增大	成本较高
3	有害细菌、 病毒	氯气消毒	持续消毒作 用,价格低	本身具有毒性, 需注意残留
		次氯酸钠消毒	毒性低,效果 明显,作用迅 速	不稳定,易受环 境影响
		次氯酸钙消毒	较为稳定,应 用范围广	是化学毒剂
		氯胺消毒	与腐殖质作用 小,持续时间长	消毒能力弱,生 成亚硝酸盐和硝 酸盐
		二氧化氯消毒	消毒作用不受 水体 pH 的影 响;稳定持久, 防止再污染的 能力强	具有爆炸性,成 本较高
		紫外线消毒	不污染水体, 杀菌范围大且 时间短	没有持续消毒能 力,容易被其他 物质吸收
4	微小型悬浮颗 粒物、重金属 颗粒	过滤法	操作简便,成 本较低	去污能力较弱
		气浮法	增加溶解氧, 操作方便	消耗电能,运营 成本较高
		絮凝剂法	优质高效成本 低廉	种类繁多,需要 一定投放条件

**1.3.2 紫外线(UV)消毒法。**紫外线杀菌消毒原理是利用适当波长的紫外线能够破坏微生物机体细胞中的脱氧核糖核酸(DNA)或核糖核酸(RNA)的分子结构,造成生长性细胞死亡和再生性细胞死亡,达到杀菌消毒的效果,紫外线杀菌的有效波长范围可分为 4 个不同的波段:UVA(400~315 nm)、UVB(315~280 nm)、UVC(280~200 nm)和真空紫外线 VUV(200~100 nm)<sup>[1]</sup>。

吴铮笛等<sup>[2]</sup>研究发现,基于 UV 而发展的真空紫外线(VUV)185 nm 的杀毒作用主要是通过生成一些活性氧化物来将细胞表面结构破坏或者改变其组成成分从而实现杀菌作用的,并且 VUV 对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>与 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>之间的转化起到积极的作用,对水体中天然有机物的降解率是 UV 的 7 倍之多。

**1.4 水体中有害微小颗粒物、重金属** 对于水体中微小的悬浮颗粒污染物而言,将其从水体中剔除的方法通常有过滤法、气浮法及化学法,过滤法就是使用不同材料制备成滤网或者滤膜进行过滤,目前应用较广的滤料主要有立体弹性滤料、煤渣、陶粒、生化石以及 EPS 泡沫粒子等。对于大的沉淀颗粒而言,沉淀可以去除绝大多数较大的沉淀物,然而水

体中较微型的沉淀物颗粒则因为体积小、质量轻而漂浮于水体中,很难通过沉淀去除,气浮法就是通过往水体中通入不溶气体,以气泡作为微粒吸附的介质,使得固体微粒能够借用气泡的浮力上浮,从而让微型颗粒污染物与水体分离。化学法通常向水体中加入化学絮凝剂,其作用就是把具有黏性的悬浮物凝聚为固态絮凝物从而达成分离去除悬浮物的过滤方式,通常是和微滤机一起结合使用,去除效率较高。作为一种先进的处理水体的方式,絮凝沉淀法因为其简便且经济的优点被广泛应用于微小悬浮颗粒物的处理中。

## 2 絮凝剂的类别、特点以及改性探究

应用水处理的絮凝剂主要有无机絮凝剂、有机絮凝剂以及生物絮凝剂三大类。无机絮凝剂虽然成本低廉,但会对人类健康和生态环境产生有害的影响;有机高分子絮凝剂有着投放剂量少、浮渣产生量低、絮凝本领强、絮体能够轻松分离、除油及除悬浮物功效好等优点,但这类高聚物的残余单体具有“三致”效应(致畸、致癌、致突变),因此应用范围不广泛;生物絮凝剂因其不会产生二次污染,使用方法简易,所以应用前景广阔。未来生物絮凝剂可能将全部代替或部分取代传统的无机高分子和合成有机高分子絮凝剂。目前在水产养殖中常见的无机絮凝剂主要有聚合氯化铝(PAC)、聚合硫酸铁(PFS)以及聚二甲基二烯丙基氯化铵(PDADMAC/PDDA)<sup>[3]</sup>,常用有机絮凝剂主要是合成产品,有聚丙烯酰胺、聚乙烯亚胺以及天然产物藻阮酸等,常见絮凝剂性能见表 2。

表 2 3 种常见絮凝剂种类性能比较

Table 2 Comparison of characteristics of three common flocculants

序号 No.	絮凝剂类型 Flocculant type	种类 Type	特点 Characteristic
1	无机絮凝剂	聚合氯化铝(PAC)、 聚合硫酸铝(PAS)、 聚合硫酸铁(PFS)、 聚丙烯酰胺、聚硅铝絮 凝剂	传统无机絮凝剂使用成 本低,对胶体絮凝效果 好,但存在对 pH 要求 严格、投加量和污泥产 生量大以及金属离子残 留的问题
2	有机絮凝剂	聚丙烯酰胺(PAM) 类、环氧氯丙烷胺 (EPI-DMA)	结构可控、pH 适用范围 宽、投加量小、无金属残 留和污泥产生量少,但 是不易降解,容易造成 二次污染
3	生物絮凝剂	微生物分泌物、微生 物菌体	用量小,效力大;成本 低,活性高,沉性高,沉 淀快,应用 pH 范围广, 对管道设备无腐蚀作用

**2.1 无机絮凝剂** 这是一种简单的无机聚合物絮凝剂,因为无机聚合物絮凝剂在污染水体中提供大量能产生络合作用的离子所以拥有较好的絮凝效果,能够强烈吸附胶体微粒,通过吸附、桥架、交联作用,使胶体凝聚,同时中和了胶体微粒及悬浮物表面的电荷,使胶体微粒互相吸引、碰撞,使胶团稳定性改变,从而形成絮状的混凝物沉淀,因此其具有十分强大的吸附能力<sup>[4-5]</sup>。

**2.1.1 聚合氯化铝(PAC)。**聚合氯化铝(PAC)是一种无机物,一种新式的净水材料、无机高分子混凝剂,对水中胶体物质和污染颗粒物具有极强的电中和及桥联作用,并可高效脱

出微有毒物质以及重金属离子。

薛晓乔等<sup>[6]</sup>在对 PAC 预处理麦草制浆废水处理的研究中找到了影响 PAC 水处理效果的各种因素,其中包括 PAC 的用量、处理水体 pH、处理过程转速以及助凝剂的种类等,其在处理不同样品中当水体酸碱度和处理过程转速一致时,PAC 用量为 1 g/L 时对水处理效果最佳,其余条件一致时在 pH 6.0 时去除效果最为显著,在转速为 100 r/min 时对水体的效果最为突出。除此之外,PAC 与其他种类絮凝剂形成的复合絮凝剂有着更加优秀的性能,通过向无机高分子聚合铝盐中引入  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{SiO}_3^{2-}$  等阴离子得到聚铝盐无机高分子复合絮凝剂,主要有聚合硫酸氯化铝 (PACS)、聚合硅酸氯化铝 (PASiC) 以及聚合硅酸氯化铝 (PASiS),3 者性能都较 PAC 有大幅提高<sup>[7]</sup>。薛笑莉等<sup>[8]</sup>对不同絮凝剂絮凝效果的对比研究表明,在相同条件下聚硅铝铁的絮凝速度、浊度去除效果都是最为突出的,而聚合氯化铝 (PAC) 的各种作用效果均次于聚硅酸铝铁。李光辉等<sup>[9]</sup>比较聚合氯化铝 (PAC)、聚合硫酸铁以及聚合硫酸铝铁的除磷效果,发现在相同的试验条件下,聚合硫酸铁对磷的剔除效果均要比其余 2 种絮凝剂效果要更高效。

**2.1.2 聚合硫酸铁 (PFS)。**聚合硫酸铁是一种新型、优质、高效的铁盐类无机高分子絮凝剂,具有絮凝速度快,净水效果好,能够去除水中过高的 COD、BOD 以及重金属等功能。通常以直接氧化法和催化氧化法制备,常被应用于印染废水处理、电镀污水处理以及造纸废水处理等方面<sup>[10-11]</sup>。

蔡吉祥等<sup>[12]</sup>在基于 PFS 对废水的除磷效果研究中发现,在对水样处理过程中聚合硫酸铁的浓度、水样 pH 以及反应过程中的搅拌速度均会对除磷的效果产生不同的影响。在对不同水样处理过程中发现,相同条件下在 PFS 浓度为 120 mg/L 时,磷的去除率能达到 85% 以上,而在目标水体 pH=8 时,磷的去除效果最佳,反应过程搅拌速度为 60~120 r/min 时最为合适,在此范围内磷去除率达 90% 以上。而郭亚丹等<sup>[13]</sup>通过生物催化剂制得的生物聚合硫酸铁 (BPFS) 对  $\text{Pb}^{2+}$  的作用机理的研究发现,在 BPFS 投放量为 5%、pH 为 6、反应温度为 20 ℃、搅拌时间为 30 min 时其对样品水体中  $\text{Pb}^{2+}$  的去除率可以达到 98%,并且还会发生迅速的脱稳聚沉效应,絮凝性能要较一般传统的絮凝剂优越。因此其凭借着高效的絮凝速度、强大的净水效果以及不含铝、氯及重金属离子等有害物质的特点而非常适合用于养殖用水前水的处理。

**2.1.3 聚二甲基二烯丙基氯化铵 (PDAMAC/PDDA)。**PDDA 为强阳离子聚电解质,水解稳定性好、不成凝胶,对 pH 变化不敏感,有抗氯性。经常被应用于污水处理,在采矿和矿物加工途中作为阳离子混凝剂,在纺织行业作业过程中用作无醛固色剂等。因为其既具有压缩双电子层和电中和力又具有一定的架桥作用,故在欧洲以及美国等发达地区或国家常常被用来当作主混凝剂使用,而在应用于饮用水处理时,则经常以助凝剂的形式出现<sup>[14]</sup>。赵旭超<sup>[15]</sup>研究发现,在处理水体样品时同等条件下当 pH=7、聚二甲基二烯丙基氯化铵剂量为 3 mg/L 时,对样品的絮凝效果最好;而在相同试验

条件下,反应温度改变为 50 ℃ 时絮凝效果最好;处理样品 pH=7 时,絮凝作用最为显著。

作为第六代季铵盐杀生剂,PDDA 因为具有良好的亲水性以及高分子链上密集的正电荷而具备了较好的杀生性能。在原水处理中可对水中的细菌起到很好的抑制作用,并且对水体中的病毒、有机/无机污染物、杀虫剂、金属、溶解性固体等都有较好的过滤及纯化效应。PDDA 可以抑制水体中的藻类,必要时可作为灭藻剂使用,但是其对某些水产品具有毒害作用,因此在水处理中则要小心使用<sup>[16]</sup>。

**2.2 有机絮凝剂** 有机高分子絮凝剂发明于 20 世纪 50 年代,相对于传统絮凝剂,有机絮凝剂有着用量少、效能高、性质稳定并且价格普遍较低的优点。目前有机絮凝剂有着非常繁多的种类,它们具有共同的特点:含有大量活性基团的高分子有机物,应用前途广阔,发展非常迅速。经常被用于污染水体净化、水/油体系破乳、含油废水处理、废水重新无害化以及污泥脱水等<sup>[17-20]</sup>。

**2.2.1 聚丙烯酰胺 (PAM)。**聚丙烯酰胺是丙烯酰胺均聚物或与其他单体共聚而得聚合物的统称,是水溶性高分子中应用最普遍的种类之一,聚丙烯酰胺是一种线型高分子聚合物,具有极强的化学活性和优秀的水溶性,热稳定性性能较为优越,在常温下以固态存在,能够以任意的比例溶解于水,水溶液呈现为均匀透明的水体。目前在国内应用最成熟最广的是在采油工程上,但其在水处理以及造纸领域上的应用也越来越广泛,并且在医用材料领域也有着不凡的地位<sup>[21-22]</sup>。

从国内现状看来,虽然市场上有种类繁多的针对性 PAM 产品,但面向城市污水净化处理的专向高效 PAM 净水剂还存在较大空白,丙烯酰胺含有碳碳双键及活泼的酰胺基,在聚合形成 PAM 高分子过程中,若引入其他化学基团可诱导其发生多种化学反应,产生絮凝性、黏合性以及增稠性可根据具体需求改变的各类 PAM 高分子化合物。在制备过程中,引入二甲基二烯丙基氯化铵及苯乙烯磺酸钠,使其分别与丙烯酰胺共聚得到阳离子辛集阴离子型聚丙烯酰胺,在应用于水处理过程时共聚得到的聚丙烯酰胺对水体中的 TDS、SS 以及 TP 的去除效果均较 PAM 优秀,郑振伟等<sup>[23]</sup>在以 PAC 为主净化剂的基础上加入一定量的 PAM 所制备的絮凝剂,对废水样品中的 TDS、SS、TP 的去除率较单独使用 PAC 效果提高 2~5 倍。李波等<sup>[24]</sup>将加了碱化剂的聚硅酸铝铁 (PAFSC) 与聚丙烯酰胺按照一定比例相结合,制备复合絮凝剂,得到的复合絮凝剂兼备了无机高分子絮凝剂与合成有机高分子絮凝剂的优点,在对化工制药废水处理时,絮凝效果相较于传统的 PAFSC 优越很多。盛红坤等<sup>[25]</sup>在探索聚丙烯酰胺与活性泥相联合制备新型絮凝剂性能测试过程中,发现在相同的试验条件下对不同样品进行处理过程中,当活性泥投放量为 0.2 g、样品溶液 pH 为 5、0.3% 的聚丙烯酰胺投放量为 4 mL 时,其对水体中金属铝的去除率最为有效,该效果可高达 93.95%,是传统 PAM 无法达到的。

**2.2.2 聚乙烯亚胺 (PEI)。**聚乙烯亚胺是一种水溶性高分子聚合物,无色或淡黄色黏稠状液体,具吸湿性,有非常积极的

反应活度,能够被水和乙醇溶解,不能被苯溶解。纤维素中的羟基能够与其发生反应并交联聚合,使纸张产生湿强度,而且含有干增强的效果。任何酸、碱和硫酸铝的存在都会影响其湿强度和附着率。也因为其能够让纸张产生湿强度因而主要被用作未施胶的吸收性纸的湿强度剂,但其也有损纸较难处理的缺点。此外其还可以使纸浆更快速地滤水,使白水中的细小纤维更加易于絮凝。另外其对酸性染料还有着比较强劲的结合力,可以被用作酸性染料染纸时的固色剂,并且还可用于处理玻璃纸,使纸张润湿变形更加轻微。聚乙烯亚胺还可以改变纤维的原有性质、经常被当作印染的助剂,对水体中金属微粒进行聚集、对废水进行处理等。并且其与自身的衍生物共同形成了一个独立、完整、特色鲜明的一类水溶性高分子产品。目前广泛被应用在纤维处理、污水处理、纺织印染、生物医药等领域。

聚乙烯亚胺与其他物质结合形成的絮凝剂往往会发挥出更加有效的作用,梁兴唐<sup>[26]</sup>等以聚乙烯亚胺为胺基改性剂,以灯芯草为支撑基材,将吸入灯芯草的聚乙烯亚胺原位接枝于其纤维表面制备所得的多孔吸附材料(PEI-JC),在对Cr(VI)吸附作用试验中发现了PEI-JC材料在pH为2.0、温度为30℃时,其对Cr(VI)的吸附作用可以达到最大值,为474.6 mg/g,并且PEI-JC还可以重复使用,极大地提高了PEI的利用率,降低了使用成本,这使得其非常有望被应用于水中Cr(VI)的消除处理。

**2.3 生物絮凝剂** 生物絮凝剂是微生物产生的一种可以让水体中的固体悬浮颗粒凝聚、沉淀的特殊高分子代谢产物。该类絮凝剂是环境友好型的材料,具有比较高效、廉价、无毒、无二次污染等特点,非常符合科学发展理念,适合应用于饮用水处理、废水净化、食品工业和发酵工业等领域。对已发现的具有絮凝性状的微生物种类有霉菌、酵母菌、细菌、放线菌和藻类等。在现代城市给水处理过程中,为了得到更好的水资源处理效果,可以将生物絮凝剂应用到给水处理中,这样可以很好地避免传统给水处理技术存在的产生铝盐的问题。目前研究较多的有酱油曲霉产生的AJ7002絮凝剂、红平红球菌S-1生产的生物絮凝剂NOC-1、拟青霉菌I-1产生的生物絮凝剂PF101等。

生物絮凝剂与不同成分相结合也会提升其自身的属性,林伟雄等<sup>[27]</sup>考察了不同化学组分与生物絮凝剂组合处理含镍废水的能力,以氢氧化钠与氢氧化钙为沉淀剂探究了其生物絮凝剂协同处理镍废水的效率,最终确定其对镍的去除效率随着钙离子活性的增加而上升,选用氢氧化钙与生物絮凝剂的组合活性要远胜于生物絮凝剂单独使用的效果,并明确了处理50 mg/L含镍废水需要投放氢氧化钙50 mg/L、生物絮凝剂73.35 mg/L的最优投放比例。

利用金属常规混凝剂、絮凝剂去除水中的有害废弃物已经成为水处理的主流方式,然而,其产生的不可生物降解污泥对人类健康的长期影响和对环境的污染正成为人们关注的话题<sup>[28]</sup>。无毒无二次污染的生物絮凝剂在水处理方面有着天然的优势。在棕榈油厂废水中分离出的硝化杆菌(B4),

培养8 h后分泌的絮凝剂,对高龄土黏土悬浮液的絮凝效果最好,其在250 ml/L的剂量下对染料去除率超过90%<sup>[29]</sup>。改变生物絮凝剂产生菌的生存条件也可以从源头上对生物絮凝剂进行性能提升,罗来鹏<sup>[30]</sup>研究分离筛选出一株产絮凝剂菌株*Raoultella ornithinolytica*160-1,分析絮凝剂的性质探究絮凝机制,优化絮凝条件和发酵条件,以获得絮凝效率更高、生产成本更低、应用更广泛的微生物絮凝剂,在探索过程中发现环境pH 3~9时,EPS-160一直维持90.00%以上的高絮凝效率。在30~100℃环境温度范围内EPS-160的絮凝效率一直保持97.00%以上的高效率。并且,絮凝体系中各成分是最佳比例时具有最高絮凝效率。

### 3 结语

(1)对于水产品养殖而言,养殖前水中的固体废弃物、大型悬浮颗粒可以通过过滤等方式去除,水体中的有毒气体则可以通过曝气的方式排除,而水中的病毒细菌则需要进行臭氧以及紫外线杀毒灭菌,相对于水体中的微小悬浮颗粒而言,需要通过添加絮凝剂的方式将其絮凝消除。

(2)面对越来越复杂的水质变化情况,采用絮凝法进行水处理时单一的絮凝剂已经不能应对复杂的污染源了,而絮凝剂改性可通过与其他化学物质形成复合絮凝剂的方式,或者通过对絮凝条件的改变来使絮凝剂发挥最大的效应,而对于生物絮凝剂而言,还可以通过改变其生产菌的生存环境来改进其性能。

### 参考文献

- [1] 李啸林.海水封闭循环养殖水臭氧安全高效消毒降解技术研究[D].青岛:青岛理工大学,2012.
- [2] 吴铮笛,温栋,李梦凯,等.真空紫外线(185 nm)在水处理中的研究及应用进展[J].中国给水排水,2017,33(22):43-48.
- [3] 杨晓霞,华涛,周启星,等.水处理复合絮凝剂的研究及应用进展[J].水处理技术,2007,33(12):11-18,37.
- [4] 杨博,孙宾宾.水处理絮凝剂的研究现状[J].合成材料老化与应用,2016,45(5):92-96.
- [5] 邓博文,海文杰,王梓浩,等.絮凝剂在水处理中的应用与研究进展[J].当代化工研究,2020(15):105-106.
- [6] 宋晓乔,白晋民,任天龙,等.聚合氯化铝预处理麦草制浆造纸废水的实验研究[J].应用化工,2020,49(10):2515-2517,2521.
- [7] 杨开吉,姚春丽,高分子复合絮凝剂作用机理及在废水处理中应用的研究进展[J].中国造纸,2019,38(12):65-71.
- [8] 薛笑莉,李瑞丰,张瑞士.聚硅酸铝铁、聚合氯化铝、聚合硫酸铁絮凝效果的比较[J].天津化工,2005,19(4):40-42.
- [9] 李光辉,王桂玉,占国将,等.聚合氯化铝、聚合硫酸铁、聚合硫酸铝铁除磷效果对比研究[J].上海化工,2014,39(8):1-4.
- [10] 陈卓然,张怡然,赵宇.净水混凝剂比选优化试验研究[J].供水技术,2020,14(5):18-21,58.
- [11] 赵明善.水处理技术在水产养殖中的应用分析[J].新农业,2020(5):45-46.
- [12] 蔡吉祥,翟露露,薛江鹏,等.聚合硫酸铁对某纺织服装废水除磷效果的影响[J].轻纺工业与技术,2020,49(7):17-18,30.
- [13] 郭亚丹,官志恒,李玲,等.生物聚合硫酸铁去除铅离子的絮凝机理研究[J].东华理工大学学报(自然科学版),2019,42(3):279-284.
- [14] 李潇潇,张跃军.聚二甲基二烯丙基氯化铵在原水处理中的应用及机理研究进展[J].精细化工,2011,28(4):375-383.
- [15] 赵旭超.聚二甲基二烯丙基氯化铵的合成及水处理絮凝效能[J].南方农机,2015,46(12):96.
- [16] 赵晓蕾,张跃军.聚二甲基二烯丙基氯化铵杀生性能与机理研究进展[J].精细化工,2011,28(9):833-838,842.
- [17] 唐菠,钟高辉.水产养殖尾水处理技术研究进展[J].云南化工,2020,47(11):17-19.

烟 6 号、CH02、对照 K326 共 4 个品种油分稍有,其他品种油分有。1914、对照 YN99 色度强,其他品种色度中等。

表 7 不同原烟外观质量比较

Table 7 Comparison of the appearance quality of different crude tobaccos

品种(系)名称 Variety (line) name	颜色 Color	成熟度 Maturity	叶片结构 Leaf structure	身份 Status	油分 Oil content	色度 Chromaticity
HB1709	多柠檬黄	成熟	疏松	中等	稍有	中等
湘烟 6 号 Xiangyan 6	多柠檬黄	成熟	疏松	中等	稍有	中等
2329	多柠檬黄	成熟	疏松	中等	有	中等
CH02	多柠檬黄	成熟	疏松	稍薄至中等	稍有	中等
1914	多橘黄	成熟	疏松	稍薄	有	强
RY21	多橘黄	成熟	疏松	中等	有	中等
CF227	多柠檬黄	成熟	疏松	稍薄至中等	有	中等
CF228	多橘黄	成熟	疏松	中等	有	中等
K326(CK1)	多橘黄	成熟	疏松	中等	稍有	中等
YN99(CK2)	多橘黄	成熟	疏松	中等	有	强

### 3 结论与讨论

该试验结果证明,各参试品种(系)出苗期早晚适中,生育期长短适中,从生育期来讲,均适宜洛南烟区种植,早霜前(10月1日)能够采收完毕,不致因霜对产量造成影响。由品种发病情况可见,2329和RY21对主要病害抗性较好,HB1709、湘烟6号、CF227抗性较差。从经济性状看,由于当年降雨量较大,导致品种经济性状普遍较低。2329的产量、产值均最高;对照YN99均价最高;RY21上等比最高;CH02上中等比高于其他各参试品种。综合参试新品种大田表现、抗病性和经济性状等各项指标,2329和CH02各项指标趋近甚至优于当地主栽品种云烟99,可进一步进行小面积示范验证,探索品种特性,挖掘品种潜力,以期筛选出适宜该地区生产的优良品种。

### 参考文献

[1] 吴兴富,肖炳光,寸锦芬,等.津巴布韦烤烟品种在云南中低海拔区域的比较试验[J].江西农业大学学报,2011,33(2):222-227.  
 [2] 邵丽,晋艳,杨宇虹,等.生态条件对不同烤烟品种烟叶产质量的影响[J].烟草科技,2002,35(10):40-45.  
 [3] 林敬凡,熊杰伟,鲁心正.气候条件对烤烟质量的影响[J].气象,1995,21(1):44-47.  
 [4] 陆永恒.生态条件对烟叶品质影响的研究进展[J].中国烟草科学,2007,28(3):43-46.  
 [5] 徐安传.烤烟品种种植结构对烟叶原料和卷烟产品的影响[J].中国烟草学报,2009,15(5):82-86.

[6] 徐婧,秦言敏,陈仁霄,等.黎川县烤烟新品种(系)区域适应性研究[J].现代农业科技,2021(4):17-20.  
 [7] 曹景林.湖北省烤烟育种工作现状与发展思路[J].农村经济与科技,2010,21(8):25-29.  
 [8] 王毅,戴勋,张家伟,等.不同海拔初烤烟叶主要烟气指标特征分析[J].中国农学通报,2010,26(17):108-111.  
 [9] 刘培玉,王新发,汪健,等.不同生态地区烤烟主要致香物质含量的变化[J].浙江农业学报,2010,22(2):239-243.  
 [10] 李传玉,杨辉,王玉平,等.烤烟品种的筛选试验[J].贵州农业科学,2009,37(3):16-18.  
 [11] 胡战军,马林,罗华元,等.红云红河集团对5个国内烤烟新品种的筛选试验初报[J].昆明学院学报,2009,31(6):43-45.  
 [12] 张新要,宋卫武,黄平俊,等.烤烟新品种(系)试验初报[J].安徽农学通报,2016,22(6):51-52,64.  
 [13] 陈良存,宋彦君,曹祥练,等.环神农架地区烤烟品种筛选[J].贵州农业科学,2008,36(4):76-77.  
 [14] 周金仙.云南烤烟主要推广品种适宜种植区域划分[J].烟草科技,2007,40(1):59-64.  
 [15] 刘云.关中地区烤烟良种(系)适应性研究[J].江西农业学报,2012,24(7):97-100.  
 [16] 张喜峰,王玮,樊万福,等.不同烤烟品种在陇县烟区的生态适应性研究[J].农学报,2014,4(5):30-34,43.  
 [17] 戴珏,殷红慧,徐天养,等.烤烟新品种在云南文山的适应性研究[J].安徽农业科学,2021,49(16):26-29.  
 [18] 吴华,张文健,刘坤华,等.余庆烟区特色优质烟叶品种的筛选[J].作物研究,2012,26(S1):33-37.  
 [19] 国家烟草专卖局.烟草农艺性状调查测量方法:YC/T 142—2010[S].北京:中国标准出版社,2010.  
 [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.烟草病虫害分级及调查方法:GB/T 23222—2008[S].北京:中国标准出版社,2009.

(上接第 21 页)

[18] 陈天天.水产养殖水处理技术浅析[J].南方农业,2016,10(9):197,199.  
 [19] 马海涛,刘相全,姜海滨,等.海水工厂化及循环水养殖技术[R].山东省海洋资源与环境研究院,2014.  
 [20] 唐黎标.工厂化水产养殖中的水处理技术[J].渔业致富指南,2017(23):34-35.  
 [21] 伏培仔,孙力平,王少坡,等.PAC与PAM复合絮凝剂在回用水处理中的应用[J].水处理技术,2008,34(9):58-60,84.  
 [22] 罗朝仁.聚二甲基二烯丙基氯化铵的合成与应用研究[D].无锡:江南大学,2013.  
 [23] 郑振伟,熊章锐,钟志威,等.离子型聚丙烯酰胺净水剂的设计及应用研究[J].水处理技术,2021,47(3):52-56,62.  
 [24] 李波,施武,陈芝海.复合絮凝剂PAFSC-PAM对化工制药废水的絮凝效果[J].化学与生物工程,2021,38(1):47-50.  
 [25] 盛红坤,张晨,李国东,等.聚丙烯酰胺联合活性污泥对废水中铅的吸

附性能研究[J].环境科学与管理,2021,46(1):87-90.  
 [26] 梁兴唐,李凤枝,钟书明,等.聚乙烯亚胺原位改性多孔灯芯草高效吸附废水中的Cr(VI)[J].化工学报,2021,72(6):3380-3389.  
 [27] 林伟雄,顾海奇,武纯,等.响应面法优化化学沉淀螯合生物絮凝处理含镍废水[J].环境工程学报,2021,15(2):493-500.  
 [28] KURNIAWAN S B, ABDULLAH S R S, IMRON M F, et al. Challenges and opportunities of biocoagulant/biofloculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery[J]. International journal of environmental research and public health, 2020, 17(24):1-33.  
 [29] ABBAS S Z, YONG Y C, ALI KHAN M, et al. Biofloculants produced by bacterial strains isolated from palm oil mill effluent for application in the removal of eriochrome black T dye from water[J]. Polymers, 2020, 12(7):1-12.  
 [30] 罗来鹏. Raoultella ornithinolytica 160-1 产生物絮凝剂的特性及其发酵优化[D].合肥:安徽医科大学,2020.