

烟台区域海水工厂化养殖尾水中 主要污染物监测与评估

王磊¹, 王文君¹, 杨新春², 孙利东³, 杨金龙¹

(1. 烟台市海洋环境监测预报中心, 山东 烟台 264003; 2. 烟台市莱山区人民政府滨海街道办事处, 山东 烟台 264003;
3. 烟台市海洋发展和渔业局, 山东 烟台 264003)

摘要: 为了解烟台区域海水工厂化养殖尾水中主要污染物浓度范围, 评估对海洋环境的影响, 对 306 家海水工厂化养殖单位的养殖进水和尾水进行了监测和评估。结果表明: 鱼类养殖尾水的主要特征污染物是磷类和氮类营养盐, 虾类是磷类营养盐、氮类营养盐和 COD, 刺参类是 TSP, 养殖活动是养殖尾水中各项污染物的主要来源。烟台区域海水工厂化养殖污染物入海总量 $2.56 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ 约占陆地污染物入海总量的 18.2%。近岸海域的海水容量可以较好的容纳养殖排放的各项污染物, 但养殖尾水中氮、磷营养盐对近岸海域海洋环境具有一定影响。

关键词: 烟台; 海水养殖; 工厂化养殖; 养殖尾水; 监测

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2022)02-0114-06

烟台是我国北方重要的水产养殖基地, 2021 年共有渔业管理部门登记在册的海水工厂化养殖单位 1574 家, 养殖水体 270 万 m^3 , 产量 3.1 万 t , 养殖规模和产量约占全国海水工厂化养殖的十分之一^[1], 主要养殖大菱鲆、牙鲆、刺参、南美白对虾等名优品种。海水工厂化养殖具有占地面积小、单产高、经济效益好、可持续生产等优点, 自 20 世纪 90 年代以来在烟台迅速发展, 但也存在经营管理粗放、养殖尾水处理不善等诸多问题。随着国家对海洋生态环境的日益重视和《关于加强海水养殖生态环境监管的意见》《渤海综合治理攻坚战行动计划》《山东省关于加强入海排污口整治工作的指导意见》等文件的出台以及专项整治工作的推进, 对海水工厂化养殖在加强绿色健康养殖和提高尾水质量等方面都提出了更高的要求。为了解烟台区域海水工厂化养殖尾水中的主要污染物浓度范围, 评估其对海洋环境的影响, 本研究于 2021 年 7 月至 10 月对烟台区域内 306 家海水工厂化养殖单位的养殖进水和养殖尾水进行了监测和评估, 以为政府管理部门开展分类综合治理和制定海水养殖尾水排放标准提供数据

支撑。

1 监测和评估方法

1.1 采样站点布设

烟台水产养殖品种主要分为鱼类、刺参类和虾类。根据地区和水产养殖品种按比例设定抽检数量, 随机抽检。采样时在海水工厂化养殖车间的总进水口和总排水口分别采集进水和尾水, 样品采集在同一时段内完成, 不得混入生活污水和其他污染物。在海水工厂化养殖单位邻近海域采集表层海水样品, 每个区域至少布设 1 个有代表性的海上监测站位。

1.2 样品采集方法

选择持续流水的持续性排水口, 在两次投喂的中间时段采集尾水样品, 选择定期换水的间歇性排水口, 在换水时段养殖尾水冲洗管道以后采集中段水样品, 采样时养殖尾水不得混入生活污水。样品采集后, 放入 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 冷藏箱中冷藏保存。

收稿日期: 2022-01-28; 修回日期: 2022-03-10

基金项目: 烟台市财政项目“市陆域工厂化海水养殖排水监测项目”; 烟台市级统筹涉农项目“陆域工厂化海水养殖的水环境影响监测评价及尾水治理改善措施应用示范项目”

第一作者简介: 王磊(1985—), 男, 山东烟台人, 硕士, 工程师, 研究方向为海洋和渔业环境监测。E-mail: 269077781@qq.com

通信作者简介: 孙利东(1978—), 男, 山东烟台人, 硕士, 研究方向为渔业管理。E-mail: Hyjyyk@yt.shandong.cn

海上监测站位海水样品的采集、保存和运输按照《海洋监测规范 第3部分:样品采集、贮存与运输》(GB 17378.3—2007)^[2]执行。

1.3 监测项目

养殖尾水、养殖进水、邻近海域海水监测项目:pH、盐度、悬浮物(TSP)、化学需氧量(COD)、无机氮(亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮)、活性磷酸盐、总氮、总磷。分析方法按照《海洋监测规范 第4部分:海水分析》(GB 17378.4—2007)^[2]和《海洋调查规范 第4部分:海水化学要素调查》(GB/T 12763.4—2007)^[3]执行。

1.4 数据处理

计算每个海水工厂化养殖单位各监测项目的浓度增量值(算式1),按照养殖品种分类采用IBM SPSS软件进行数据统计;计算不同养殖品种的养殖过程对养殖尾水中各项污染物的贡献率(算式2),采用养殖过程贡献率最大值和平均增量值超过《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[4]第四类标准值的监测项目作为主要特征污染物;计算烟台区域海水工厂化养殖尾水中主要污染物入海总量(算式3)。

算式如下:

算式1:浓度增量值 = 养殖尾水浓度 - 养殖进水浓度

算式2:养殖过程贡献率 = 增量值平均浓度 / 养殖尾水平均浓度

算式3:污染物排放量 = 污染物平均浓度 × 养殖尾水排放量

2 结果与分析

2.1 海水鱼类工厂化养殖监测结果

共抽检海水鱼类工厂化养殖单位180家,主要养殖大菱鲆,个别养殖牙鲆、石斑鱼、半滑舌鳎等鱼类品种,普遍采用“温室大棚+深井海水”的持续流水的养殖模式^[5],养殖尾水呈持续性排放,养殖尾水未经处理直接排入邻近海域或排入池塘、沟渠后入海。养殖过程比较简单,大菱鲆和牙鲆摄食量较小,饵料利用度高,鱼类吸收利用度高^[6]。鱼类工厂化养殖海水监测结果详情见表1。从平均值看,养殖尾水中pH和TSP浓度略低于邻近海域,COD和总磷浓度略高于邻近海域,无机氮、活性磷酸盐和总氮浓度明显高于邻近海域,分别是邻近海域海水浓度的38.9倍、22.8倍和4.85倍;养殖进水中pH、TSP、COD和总磷浓度略低于邻近海域,无机氮、活性磷酸盐和总氮浓度明显高于邻近海域;养殖过程对养殖尾水中除TSP外的各监测项目均有正贡献,其中排名前三的是总氮、无机氮和COD,结果分别是1.850、1.620和0.920 mg·L⁻¹,无机氮和活性磷酸盐平均增量值超过GB 3097—1997^[4]第四类标准值;养殖过程对养殖尾水中污染物贡献率排名前三的是活性磷酸盐、总磷和无机氮,分别占养殖尾水浓度的75.1%、73.9%和56.4%(表1)。综上,海水鱼类工厂化养殖尾水的主要特征污染物是磷类和氮类营养盐。

表1 烟台区域鱼类工厂化养殖海水监测结果

Tab. 1 Monitoring results of fish marine aquaculture plants in Yantai area

项目	pH	TSP/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	无机氮/ (mg·L ⁻¹)	活性磷酸盐/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)
邻近海域	浓度范围	7.73~8.30	17.6~28.6	0.822~1.710	0.033~0.185	未检出~0.007	0.490~1.280
	平均值	8.15	21.3	1.180	0.074	0.003	0.810
养殖尾水	浓度范围	7.14~8.18	1.0~48.6	0.016~18.500	0.058~24.200	0.003~0.390	0.684~27.000
	平均值	7.57	16.0	1.860	2.870	0.078	3.930
养殖进水	浓度范围	6.90~7.99	4.2~67.0	0.309~2.980	0.106~8.330	未检出~0.104	0.312~9.780
	平均值	7.40	17.4	0.974	1.400	0.020	2.380
增量值	浓度范围	—	-25.0~38.8	-1.060~17.900	-1.480~23.200	-0.037~0.367	-1.670~25.500
	平均值	—	-1.1	0.920	1.620	0.059	1.850
养殖过程贡献率/%	—	-7.0	49.5	56.4	75.1	47.1	73.9

2.2 海水虾类工厂化养殖监测结果

共抽检海水虾类工厂化养殖单位53家,全部

养殖南美白对虾,采用“温室大棚+深井海水”定期部分换水的养殖模式,养殖尾水呈间歇性排放,养殖尾水直接排入邻近海域或排入池塘、沟渠后

入海。海水虾类工厂化养殖的养殖密度大,在南美白对虾养殖过程前期需要定期加入含有丰富氮、磷营养盐的肥水膏进行养水,中后期需要投入大量富含蛋白质、脂肪酸、微量元素等营养物质,目前饲料的实际摄取率约为 30%^[7]。

监测结果见表 2。从平均值看,养殖尾水中除 pH 外,各项目浓度均明显高于邻近海域,其中活性磷酸盐、无机氮和总磷浓度分别是邻近海域的 83.9 倍、57.9 倍和 12.1 倍;养殖进水各项目浓度跟鱼类养殖进水浓度相近,其中 pH、TSP、COD 和总磷浓度略低于邻近海域,无机氮、活性

磷酸盐和总氮浓度明显高于邻近海域;从平均增量值看,养殖过程是尾水中各项目浓度的最主要贡献者,其中排名前三的是 TSP、COD 和总氮,分别是 71.4、12.200 和 5.420 mg·L⁻¹,COD、无机氮和活性磷酸盐平均增量值都超过 GB 3097—1997^[4] 第四类标准值;养殖过程对养殖尾水中污染物贡献率排名前三的是活性磷酸盐、COD 和总磷,分别占养殖尾水浓度的 98.3%、97.6% 和 95.2%。综上,海水虾类工厂化养殖尾水的主要特征污染物是磷类营养盐、氮类营养盐和 COD。

表 2 烟台区域虾类工厂化养殖海水监测结果

Tab. 2 Monitoring results of shrimp marine aquaculture plants in Yantai area

项目	pH	TSP/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	无机氮/ (mg·L ⁻¹)	活性磷酸盐/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	
邻近海域	浓度范围	7.73~8.30	17.6~28.6	0.822~1.710	0.033~0.185	未检出~0.007	0.490~1.280	0.015~0.312
	平均值	8.15	21.3	1.180	0.074	0.003	0.810	0.087
养殖尾水	浓度范围	7.25~9.06	13.2~251.0	0.617~32.600	0.021~17.600	0.003~1.580	0.654~32.400	0.037~4.800
	平均值	7.94	88.0	12.500	4.270	0.287	7.190	1.050
养殖进水	浓度范围	7.11~7.60	9.0~38.4	0.464~1.430	0.506~3.980	0.002~0.092	1.030~4.060	0.009~0.135
	平均值	7.40	19.9	0.814	1.890	0.034	2.350	0.051
增量值	浓度范围	—	0.4~225.0	0.155~31.200	-1.660~17.000	0.017~1.510	-0.910~28.300	0.000~4.780
	平均值	—	71.4	12.200	3.300	0.282	5.420	1.000
养殖过程贡献率/%	—	81.1	97.6	77.3	98.3	75.4	95.2	

2.3 海水刺参类工厂化监测结果

共抽检海水刺参类工厂化养殖单位 73 家,主要养殖刺参成品,小部分进行刺参育苗养殖,养殖尾水呈间歇性排放,养殖尾水直接排入邻近海域或排入池塘、沟渠后入海。海水刺参类工厂化养殖的主要饵料是混有有机碎屑、藻类和生物多肽成分的海底泥^[8],在养殖倒池过程中需要冲洗养殖池壁,大量海底泥随养殖尾水排出,使养殖尾水中 TSP 浓度在该时段较高。

监测结果见表 3。从平均值来看,养殖尾水中除 pH 外,各项目浓度均高于邻近海域,其中活

性磷酸盐和无机氮最为显著,分别是邻近海域的 15.7 倍和 9.77 倍;养殖进水中 pH、TSP、COD 和总磷浓度略低于邻近海域,无机氮、活性磷酸盐和总氮浓度高于邻近海域;从平均增量值看,养殖过程对养殖尾水的各监测项目均有正贡献,其中排名前三的是 TSP、COD 和总氮,结果分别是 46.2、2.360、0.715 mg·L⁻¹,各项目均符合 GB 3097—1997^[4] 第四类标准值;养殖过程产生的 TSP、活性磷酸盐和 COD 对其养殖尾水中浓度的平均贡献率最大,分别占养殖尾水浓度的 85.2%、81.3% 和 68.2%。综上,海水刺参类工厂化养殖尾水的主要特征污染物是 TSP。

表 3 烟台区域海水刺参类工厂化监测结果

Tab. 3 Monitoring results of *Stichopus japonicus* marine aquaculture plants in Yantai area

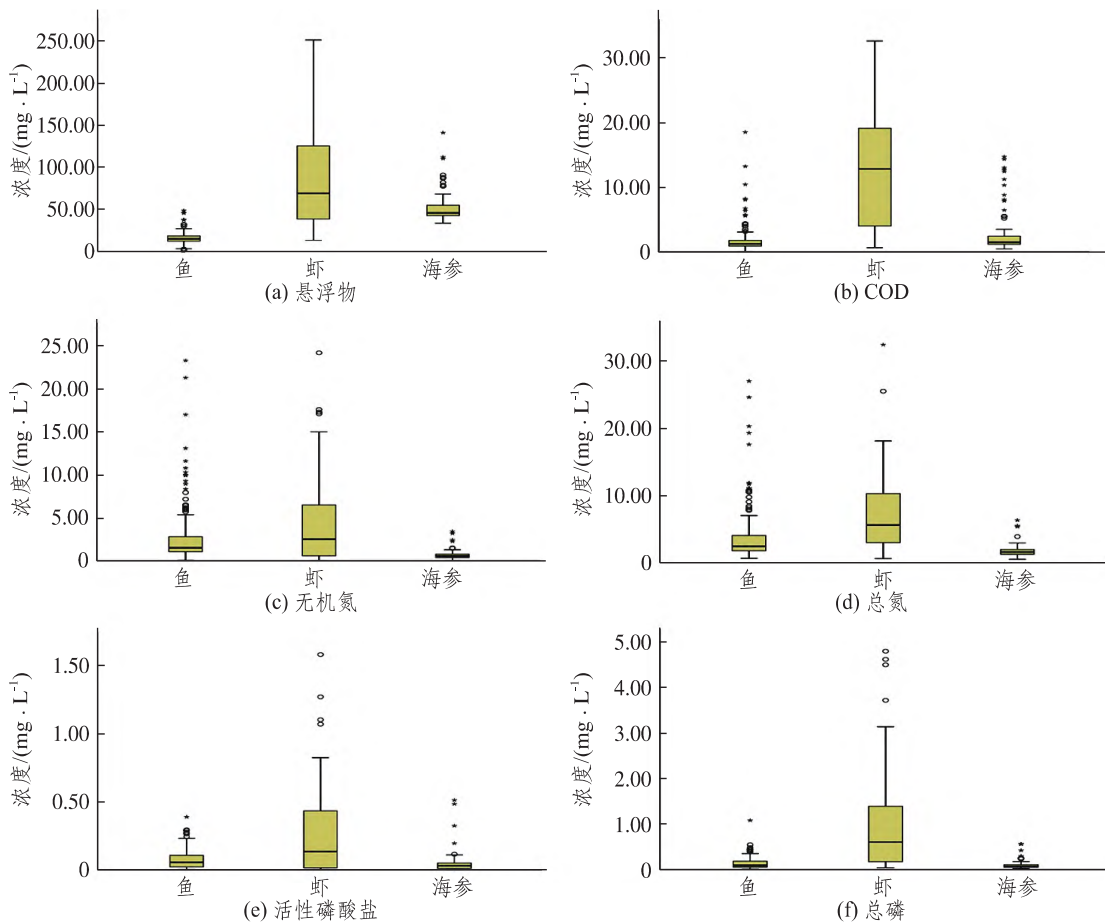
项目	pH	TSP/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	无机氮/ (mg·L ⁻¹)	活性磷酸盐/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	
邻近海域	浓度范围	7.73~8.30	17.6~28.6	0.822~1.710	0.033~0.185	未检出~0.007	0.490~1.280	0.015~0.312
	平均值	8.15	21.3	1.180	0.074	0.003	0.810	0.087
养殖尾水	浓度范围	7.09~8.51	36.0~111.0	0.416~14.700	0.072~3.420	0.001~0.513	0.536~6.350	0.016~0.560
	平均值	7.88	54.2	3.460	0.713	0.054	1.840	1.000
养殖进水	浓度范围	7.19~8.30	5.4~32.7	0.566~1.710	0.059~1.200	未检出~0.031	0.531~2.600	0.014~0.312
	平均值	7.93	10.7	1.050	0.287	0.008	1.240	0.074
增量值	浓度范围	—	16.2~87.2	-1.270~11.000	0.038~3.100	0.000~0.502	0.043~5.410	0.000~0.545
	平均值	—	46.2	2.360	0.434	0.044	0.715	0.051
养殖过程贡献率/%	—	85.2	68.2	60.9	81.3	38.9	50.7	

2.4 不同养殖品种之间养殖尾水的差异性分析

监测数据表明,不同养殖单位由于养殖品种、养殖阶段、饵料投喂量、换水量、进水本底值的差异,造成各监测项目浓度值整体区间范围较大,养殖尾水浓度值不符合正态分布。本论文采用四分位数法(Quartile)^[9],将各监测项目数据按养殖品种分类,选取由小到大排列后第 25% 的数字为较小四分位数(Q1),第 50% 的数字为中位数(Q2),第 75% 的数字为较大四分位数(Q3),Q3 和 Q1 的差值为四分位距(IQR),以 $[Q1 - k(Q3 - Q1), Q3 + k(Q3 - Q1)]$ ($k = 1.5$) 区间为置信区间,超出范围的数值为离群值,超出 $k = 3$ 的数值为极值,分析结果见图 1。

由图 1 可以发现,虾类养殖尾水中各监测项目浓度值中位数明显高于鱼类和刺参类,IQR 也较鱼类和刺参类更大,数值分散度较大,主要原因是虾类在不同养殖阶段其养殖密度和投饵量差距

很大,1 个养殖周期内的虾类养殖尾水中各项污染物浓度随着虾的生长逐渐升高,在达到成虾后趋向稳定^[10];刺参类养殖尾水中 TSP 浓度值中位数高于鱼类,COD 浓度值中位数略高于鱼类,各监测项目浓度值 IQR 较小,数值集中度较好,主要原因是刺参虽然在育苗阶段和成品养殖阶段饵料有所不同,但在成品养殖周期内饵料变化不大,养殖过程对尾水中各项污染物的贡献程度基本稳定;鱼类养殖尾水中氮、磷营养盐浓度值中位数高于刺参类,IQR 比刺参类偏大,较鱼类 TSP 和 COD 浓度值 IQR 也偏大,数值较为分散,主要原因一是不同养殖单位的投喂量、饵料质量和换水量不同,二是不同区域的养殖进水中氮、磷营养盐浓度值普遍高于采用海上深井的浓度值,且氮、磷营养盐浓度值基本与盐度成负相关关系。综上,不同养殖品种之间养殖尾水各监测项目浓度值差异性较大,且呈现各自不同的特点。



注: 图中 ○ 表示离群值,* 表示极值

图 1 不同养殖品种的各监测项目浓度值箱形图

Fig.1 Box - plot of concentration values of various monitoring items of different breeding varieties

2.5 污染物排放总量计算

调查分析发现不同地理区域的同一养殖品种、同一地理区域的不同养殖品种之间的养殖用水量都有较大差异。2021年烟台区域海水工厂化养殖尾水排放总量约为7.7亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 污染物排放总量(按TSP、COD、总氮、总磷入海量之和计算)约为2.56万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 其中TSP 20360 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,COD 2156 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,总氮 2939 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,总磷 147 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ (表4)。

表4 烟台区域海水工厂化养殖污染物排放总量结果

Tab.4 Total pollutant emission results of marine aquaculture plants in Yantai area

项目	总量/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	TSP/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	COD/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	无机氮/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	活性磷酸盐/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	总氮/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	总磷/($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)
鱼类	13 157	9600	1116	1722	46.7	2358	82.7
虾类	5437	4400	625	213	14.3	360	52.5
刺参类	7008	6360	415	85.6	6.4	221	12.0
合计	25 602	20 360	2156	2021	67.4	2939	147

3 评估与分析

3.1 海水工厂化养殖用水量与其他行业用水量比较

烟台水资源严重缺乏,入海河流径流量80%以上来自降水,除五龙河、大沽夹河、黄水河等主要河流,其他河流大部分时间断流或水流量较小,主要河流入海径流量多年平均值约为13亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ [11]。根据《2020年烟台市水资源公报》[12],烟台全市用水总量9.81亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,其中农田灌溉3.87亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,林牧畜渔(淡水)2.08亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,工业1.35亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,居民生活1.95亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,城镇公共0.53亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 。

根据现有养殖水体和现场监测数据测算烟台区域海水工厂化养殖用水量为7.7亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$,目前绝大多数海水工厂化养殖单位采用长流水模式,养殖水体利用率低,虽然抽取使用的是海水,但也造成了能耗浪费,不符合“节能降碳、绿色发展”的理念,根据《大菱鲆产业发展报告》[13],大菱鲆工厂化养殖采用循环水模式,全年用水量最高能降低97%,但存在固定资产投资大,技术不成熟等问题,可以探索尝试多层次立体生态养殖,提高养殖水体的利用率,降低能耗和成本。

3.2 海水工厂化养殖排放与其他途径污染物入海总量比较

烟台全市全年工业、居民生活、城镇公共用水量

烟台区域海水鱼类工厂化养殖尾水排放量约为6亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 污染物排放总量为13 157 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, 排放量排名前三的是TSP,总氮,无机氮;海水虾类工厂化养殖尾水排放量约为0.5亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 污染物排放总量为5437 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, 排放量排名前三的是TSP, COD, 总氮;海水刺参类工厂化养殖尾水排放量约为1.2亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 污染物排放总量为7008 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, 排放量排名前三的是TSP, COD, 总氮(表4)。

总计3.83亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 折合每日105万 m^3 ,按《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)[14]一级A标准值计算,共排放COD 19 150 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, TSP 3830 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,总氮5745 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,总磷192 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,合计28 917 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。根据2021年1—12月烟台市重点河流水质状况报告[15],大沽夹河和黄水河下游段全年整体符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)[16]Ⅲ类标准,五龙河下游段全年整体符合Ⅳ类标准,综合计算共排放入海COD 6760 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, TSP 66 560 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,总氮13 169 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,总磷130 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,合计86 619 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

综合计算,烟台全部陆地入海污染物总量约为14.1万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,其中TSP 9.08万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, COD 2.81万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,总氮2.19万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,总磷452 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。海水工厂化养殖的污染物排放总量约占陆地入海污染物总量的18.2%,其中总磷占比最大,占28.8%,TSP占22.4%,总氮占13.4%,COD占7.67%。目前烟台海域整体处于磷限制状态,海水中活性磷酸盐的浓度常年大幅低于GB 3097—1997[4]第一类标准值,如果温度、光照等气象条件适宜,在合适的N/P条件下,海水工厂化养殖密集区有爆发赤潮的风险[17]。

3.3 海水工厂化养殖排放与近岸海域海水容量的关系

目前除烟台主城区外,其他沿海区域均有海水工厂化养殖单位,距岸3海里(约5.56 km)对应近岸海域面积约3000 km^2 ,以平均水深10 m计算,海水总体积约300亿 m^3 ,假设水体不流动和交换,

也没有藻类等生物消耗,全部海水工厂化养殖排放的入海污染物将造成近岸海域 TSP 浓度升高 $0.679 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, COD 浓度升高 $0.0719 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 无机氮浓度升高 $0.0674 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 活性磷酸盐浓度升高 $0.00225 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总氮浓度升高 $0.0980 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总磷浓度升高 $0.00490 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 分别是 GB 3097—1997^[4] 第一类标准值的 3.2% ~ 33.7%, 其中无机氮为 33.7%, 活性磷酸盐为 32.7%。整体看烟台近岸海域的海水容量可以较好的容纳海水工厂化养殖单位排放的各项污染物,但在莱州湾等水动力较差、水深较浅、海水工厂化养殖密度大的海域需要加强监测频次,密切关注海水中氮、磷营养盐浓度的变化。

4 结论

本次监测的海水工厂化养殖单位由于养殖品种、养殖阶段、饵料投喂量、换水量、进水本底值的差异,造成各监测项目浓度值整体区间范围较大;不同养殖品种的海水工厂化养殖单位,各监测项目浓度值差异性较大,且呈现各自特点。从平均值看,虾类的各项目浓度值均较高,主要特征污染物是磷类营养盐、氮类营养盐和 COD; 鱼类的主要特征污染物是磷类营养盐和氮类营养盐,刺参类的主要特征污染物是 TSP,养殖活动是海水工厂化养殖尾水中各项污染物的主要来源。

烟台区域海水工厂化养殖用水总量约为 $7.7 \text{ 亿 m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 与其他行业相比水体利用率较低,污染物排放总量约为 $2.56 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$, 约占陆地入海污染物总量的 18.2%, 烟台近岸海域的海水容量可以较好的容纳海水工厂化养殖单位排放的各项污染物,由于烟台海域整体处于磷限制状态,海水工厂化养殖尾水中磷的浓度和总量相对于其他行业和海水中的浓度都较高,需要重点关注。

整体来看,烟台作为海水工厂化养殖的聚集区,海水工厂化养殖尾水对近岸海洋环境具有一定的影响,需要当地政府和主管部门加强推广海水绿色生态健康养殖技术,合理规划养殖密度,鼓励建设现代渔业产业园,在入海排污口整治改造工作中对不同养殖品种提供有针对性的尾水升级改造方案,降低各项污染物尤其是磷类营养盐的排入海量,制定符合水产养殖特点和实际情况

的海水养殖尾水排放标准,加强对养殖尾水和重点海域的日常监测活动。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 2021 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 21-50.
- [2] 国家海洋局. 海洋监测规范: GB 17378—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1.
- [3] 国家海洋局. 海洋调查规范: GB/T 12763—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 11.
- [4] 国家环境保护局. 海水水质标准: GB 3097—1997 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998: 3.
- [5] 门强, 王印庚, 王秉新. 大菱鲆“温室大棚+深井海水”工厂化养殖模式[J]. 海洋水产研究, 2002(4): 1-7.
- [6] 田甲申, 李多慧, 王摆, 等. 工厂化养殖大菱鲆饵料贡献率研究及营养评价[J]. 水产科学, 2018, 37(1): 8-14.
- [7] 李生, 朱旺明, 周萌. 南美白对虾高效养成技术与实例[M]. 北京: 海洋出版社, 2018: 9-66.
- [8] 张欣, 蒋艾青. 水产养殖概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 124-127.
- [9] 张文彬, 邝春伟. SPSS 统计分析基础教程[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2011: 183-186.
- [10] 王华, 苏鹏, 徐永超. 南美白对虾工厂化循环水养殖尾水治理方式[J]. 科学养鱼, 2021, 7: 23-25.
- [11] 王燕, 毕彩霞, 王增凯. 烟台市河道生态基流分析及保障措施[J]. 治淮, 2017(8): 26-27.
- [12] 烟台市水利局. 烟台市水资源公报[R]. (2021-07-12) [2022-01-28]. http://slj.yantai.gov.cn/art/2021/7/12/art_1293_2903081.html.
- [13] 关长涛, 杨正勇, 王启要, 等. 大菱鲆产业发展报告[J]. 中国水产, 2021(1): 32-45.
- [14] 国家环境保护局科技标准司. 城镇污水处理厂污染物排放标准: GB 18918-2002 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003: 3.
- [15] 烟台市生态环境局. 全市重点河流水质状况报告[R]. (2021-03-04) [2022-01-28]. <http://hbj.yantai.gov.cn/col/col23900/index.html>.
- [16] 国家环境保护局科技标准司. 地表水环境质量标准: GB 3838-2002 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 3.
- [17] 喻龙, 郝彦菊. 烟台四十里湾一次血红哈卡藻赤潮过程分析[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(4): 516-522.

(下转第 151 页)

Finite-time Stabilization of Heating Furnace Temperature Control System

GUANG Xiaona , LIU Xiaohua , GAO Rong

(School of Mathematics and Statistics Science ,Ludong University ,Yantai 264039 ,China)

Abstract: In this paper ,the design problem of power integral finite-time stabilization controller for heating furnace temperature control system was studied. Based on the extended Lyapunov finite-time stability theorem and power integral method ,Lyapunov function was constructed and power integral finite-time stabilization controller for the heating furnace temperature control system was proposed. Under the control of the power integral finite-time stabilization controller ,the heating furnace temperature control system can reach stabilization in finite time and the slab temperature can reach the predetermined temperature in finite time ,which improves the slab quality and reduce the energy loss. By using a simulation example ,the efficiency of the designing scheme was demonstrated.

Keywords: finite-time stabilization; heating furnace; temperature control system; power integral control

(责任编辑 顾建忠)

(上接第 119 页)

Abstract ID: 1673-8020(2022) 02-0114-EA

Monitoring and Evaluation of Main Pollutants in the Tail Water of Marine Aquaculture Plants in Yantai Area

WANG Lei¹ , WANG Wenjun¹ , YANG Xinchun² , SUN Lidong³ , YANG Jinlong¹

(1. Yantai Marine Environment Monitoring and Forecasting Center ,Yantai 264003 ,China; 2. Binhai Sub District Office of Laishan District People' s Government of Yantai City ,Yantai 264003 ,China; 3. Yantai Marine Development and Fishery Bureau ,Yantai 264003 ,China)

Abstract: In order to understand the concentration range of main pollutants in the tail water of marine aquaculture plants in Yantai and evaluate the impact on the marine environment ,the aquaculture inlet and tail water of 306 marine aquaculture plants were monitored and evaluated. The results show that the characteristic pollutants of fish culture tail water are nitrogen and phosphorus nutrients; those of shrimp are chemical oxygen demand , nitrogen and phosphorus nutrients; and those of *Stichopus japonicus* are suspended solids. Aquaculture activities are the main source of pollutants in aquaculture tail water. The total amount of pollutants from seawater industrialized aquaculture in Yantai is $25\ 600\ \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,accounting for about 18.2% of the total amount of land pollutants entering the sea. The seawater capacity of Yantai nearshore sea area can better accommodate various pollutants discharged by seawater industrialized aquaculture units. However ,nitrogen and phosphorus nutrients in aquaculture tail water have a certain impact on the marine environment of coastal waters.

Keywords: Yantai; mariculture; marine aquaculture plant; tail water; monitor

(责任编辑 李维卫)