

孙 猛,魏代艳,赵吉睿,等.天津市海水养殖废水排放的分布及水质评估[J].江苏农业科学,2020,48(19):263-268.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.19.055

天津市海水养殖废水排放的分布及水质评估

孙 猛¹, 魏代艳^{1,2}, 赵吉睿¹, 陈小明^{1,2}, 刘佳泓¹

(1. 天津市生态环境监测中心, 天津 300191; 2. 天津天滨瑞成环境技术工程有限公司, 天津 300000)

摘要:为了解天津市海水养殖污染负荷,对天津市主要海水养殖方式的排放废水进行了监测,以 SC-T 9103—2007《海水养殖水排放要求》一级标准、GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V 类水环境质量标准、DB 12/356—2018《污水综合排放标准》二级标准对废水水质进行了评价,根据养殖面积及分布、养殖废水排放去向,对污染物排放情况进行了初步评估,对比分析了不同养殖方式污染物排放差异。结果显示,池塘海水养殖主要污染因子是化学需氧量(COD_{Mn})、活性磷酸盐和总磷含量,工厂化海水养殖主要污染因子是无机氮、活性磷酸盐和总氮含量;相比工厂化海水养殖,池塘海水养殖无机氮和活性磷酸盐含量达标率较高,悬浮物、COD_{Mn}、总磷含量达标率较低,流水式较循环水式工厂化海水养殖总氮和总磷含量达标率高;池塘海水养殖排放量小于工厂化海水养殖,海水养殖对村庄排干的影响最大,监测的污染物排放总量的 92.3% 进入村庄排干;与流水式工厂化海水养殖相比,可减少污染物排放。针对减少海水养殖污染提出了应对策略和建议。

关键词:池塘;工厂化;海水养殖;污染物;评估

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)19-0263-05

天津市东临渤海,南起河北省歧口,北至河北省涧河口,海岸线长 153 km,海域面积 3 000 km²^[1],地热资源丰富,海水中有有机质和营养盐含量均较高,有广阔的盐田和丰富的卤水资源,具有发展海水养殖的良好自然条件。近年来,随着海水养殖业的高强度开发和养殖方式向集约化转变^[2],海水养殖污染已经成为当前人们关注的主要海洋环境问题之一^[3-6]。大多数水产养殖品种为异养型品种,养殖过程中需要投喂饵料,残留的饵料以及水产养殖过程中水产品的代谢产物,是养殖系统氮、磷污染的主要来源之一^[7]。渤海湾近年来水体严重富营养化^[8],养殖产生的大量废水,大多未经净化直接排放,进一步加剧赤潮的发生^[9-10]。当前关于天津市海水养殖污染负荷相关研究也有报道,但对于不同养殖方式污染情况及对入海河流影响的研究较少,基于此,本研究对不同养殖方式的海水养殖废水水质展开了监测和分析,并针对减少海水养殖污染提出了相应的措施。

收稿日期:2019-12-30

基金项目:天津市科技计划(编号:18ZXSZSF00130)。

作者简介:孙 猛(1984—),男,河南商丘人,博士,高级工程师,主要从事污染源监测和评价相关研究。E-mail:sunm1127@163.com。

通信作者:刘佳泓,硕士,高级工程师,主要从事污染源监测和评价相关研究。E-mail:liujiahong1215@163.com。

1 研究方法

1.1 监测对象

根据天津市海水养殖现状,海水养殖方式主要有池塘和工厂化养殖,工厂化养殖又分为循环水式养殖和流水式养殖,选取了天津市大港马棚口、汉沽杨家泊镇、寨上街海水池塘为监测对象;共设置 37 个排口站点,于 2019 年 9—10 月清塘排水期间进行监测;海水工厂化养殖共设置 17 个排口站点,其中循环水式 9 个,流水式 8 个,于 2019 年 9—10 月监测。

1.2 监测指标及分析方法

针对水产养殖废水的特点,以悬浮物、化学需氧量(COD_{Mn})、无机氮、活性磷酸盐、总氮和总磷含量为监测指标。其中,悬浮物、COD_{Mn}、无机氮、活性磷酸盐分析参照 GB 17378.4—2007《海洋监测规范 第 4 部分:海水分析》^[11],总氮分析参照 HY/T 147.1—2013《海洋监测技术规程 第 1 部分:海水》^[12],总磷分析参照 GB-T 12763.4—2007《海洋调查规范 第 4 部分:海水化学要素调查》^[13]。

1.3 评估方法

化学分析法是现场测定法的一种简化方法,主要利用进、出养殖系统的污染物浓度差,结合排水量估算水产养殖污染物的排放情况^[14]。此次评估仅考

考虑海水养殖尾水排放的水质情况,计算公式如下:

$$P = Q \times C_{out} \times 10^{-6}。$$

式中, P 为污染物排放负荷量; Q 为排放的水量; C_{out} 为排放水中的污染物浓度。

1.4 评价标准

水质悬浮物、COD_{Mn}、无机氮、活性磷酸盐污染因子评价参照 SC - T 9103—2007《海水养殖水排放要求》^[15]中的一级标准,总氮污染因子评价执行 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》^[16]中的 V 类水环境质量标准,总磷污染因子评价执行 DB12/356—2018《污水综合排放标准》^[17]中的二级标准。

2 结果与分析

2.1 海水养殖区域分布

天津市海水养殖分布在滨海新区,根据《滨海新区养殖水域滩涂规划》及相关管理部门统计数据,池塘海水养殖面积为 3 028 hm²,主要分布在天津市汉沽杨家泊镇、寨上街,其次是塘沽和大港。养殖废水主要通过天津市付庄排干、青静黄排水渠和北排水河入海,其中,通过付庄排干的养殖面积有 2 430 hm²,通过青静黄排水渠的养殖面积有 442 hm²,通过北排水河的养殖面积有 132 hm²。池塘海水养殖品种比较单一,为中国对虾和凡纳滨对虾。

近年来由于地下水的限采,工厂化海水养殖及育苗生产企业由 95 家减缩至 36 家,养殖面积总计 78.8 hm²,其中 6 家有循环水设施,养殖面积 11.7 hm²,3 家尾水零排放,养殖面积 11.3 hm²。现存工厂化海水养殖废水全部通过付庄排干入海,养殖品种主要有半滑舌鲷、大菱鲆等。

2.2 海水养殖废水排放去向及排水量

据调研,池塘海水养殖区域平均水深约 1.0 m,年排水 1 次,全部排干;工厂化海水养殖池水深平均约 0.5 m,其中循环水式日换水量约占总水量 20%,流水式日换水量约占总水量 100%。经测算,天津市海水养殖年排水量共约 13 643.4 万 m³,其中池塘海水养殖年排水量约 3 028 万 m³(表 1),工厂化海水养

殖年排水量约 10 615.4 万 m³(表 2)。海水养殖尾水主要通过付庄排干、青静黄排水渠和北排水河等地表河流入海,其中入付庄排干的水量占比 80.3%。

表 1 池塘海水养殖排水情况

排水去向	池塘海水养殖面积 (hm ²)	年排水量 (万 m ³)	汇入的近岸海域 功能区类别
付庄排干	2 430	2 430	二类
青静黄排水渠	442	442	二类
北排水河	132	132	二类
未知	24	24	未知
合计	3 028	3 028	

表 2 工厂化海水养殖排水情况

养殖类型	排水去向	养殖面积 (hm ²)	年排水量 (万 m ³)	汇入的近岸海 域功能区类别
流水式工厂化	付庄排干	55.83	10 189.4	二类
循环水式工厂化	付庄排干	11.67	426.0	二类
合计		67.5	10 615.4	

2.3 海水养殖废水水质情况

由表 3、图 1 可见,池塘海水养殖悬浮物、COD_{Mn}、无机氮、活性磷酸盐、总氮、总磷达标率依次为 94.6%、18.5%、48.4%、27.0%、46.2%、38.7%。超标污染因子主要是 COD_{Mn}、活性磷酸盐和总磷,分别超标 0.04 ~ 1.30 倍、0.06 ~ 15.94 倍、0.08 ~ 2.80 倍。流水式工厂化海水养殖悬浮物、COD_{Mn}、无机氮、活性磷酸盐、总氮和总磷达标率依次为 100%、85.7%、12.5%、0%、57.1%、100%;循环水式工厂化海水养殖悬浮物、COD_{Mn}、无机氮、活性磷酸盐、总氮和总磷达标率依次为 100%、100%、0%、0%、12.5%、50.0%,超标污染因子均主要是无机氮、活性磷酸盐和总氮,流水式工厂化海水养殖无机氮、活性磷酸盐、总氮含量分别超标 0.73 ~ 9.32 倍、1.06 ~ 4.22 倍、0.07 ~ 0.61 倍,循环水式工厂化海水养殖分别超标 1.03 ~ 9.34 倍、4.10 ~ 7.82 倍、0.09 ~ 3.23 倍。相比循环水式工厂化养殖,流水式工厂养殖悬浮物、COD_{Mn}平均浓度较高,无机氮、活性磷酸盐、总氮、总磷平均浓度较低。

表 3 海水池塘养殖水质情况

养殖方式	悬浮物含量	COD _{Mn}	无机氮含量	活性磷酸盐含量	总氮含量	总磷含量
标准限值	40.0	10.00	0.500	0.050	2.00	0.40
池塘	5.0 ~ 49.3(24.7)	1.14 ~ 23.00(14.64)	0.029 ~ 1.530(0.650)	0.003 ~ 0.847(0.278)	0.48 ~ 8.75(3.22)	0.09 ~ 1.52(0.64)
流水式工厂化	未检出 ~ 26.4(9.2)	2.01 ~ 14.60(6.76)	0.060 ~ 5.160(1.496)	0.103 ~ 0.261(0.179)	0.94 ~ 3.21(1.83)	0.17 ~ 0.31(0.25)
循环水式工厂化	未检出 ~ 8.2(3.7)	1.78 ~ 8.02(5.46)	1.017 ~ 5.170(3.006)	0.255 ~ 0.441(0.345)	1.76 ~ 8.45(4.10)	0.33 ~ 0.62(0.45)

注:表中括号内的数值表示污染物的平均含量。

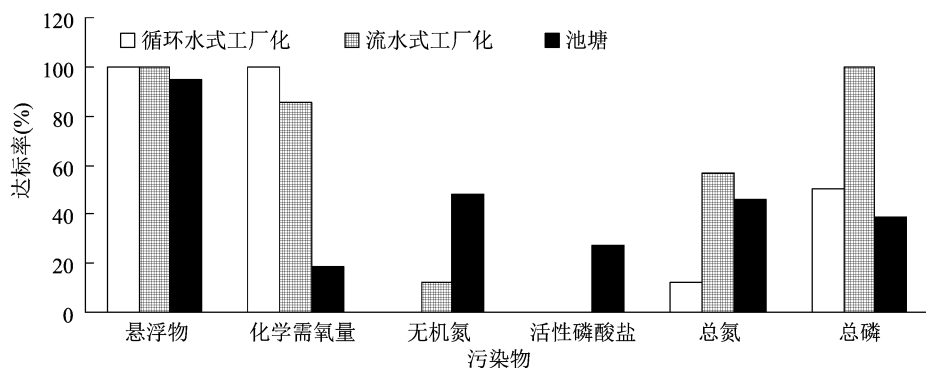


图1 不同养殖方式各污染物达标率

由图2可见,相对工厂化海水养殖,池塘海水养殖废水悬浮物含量、 COD_{Mn} 、总磷含量平均浓度较高,无机氮平均浓度较低,活性磷酸盐和总氮平均

浓度与海水养殖相差不大。由图1可见,池塘海水养殖无机氮、活性磷酸盐和总氮达标率较高,但也不超过50%,水质较差。

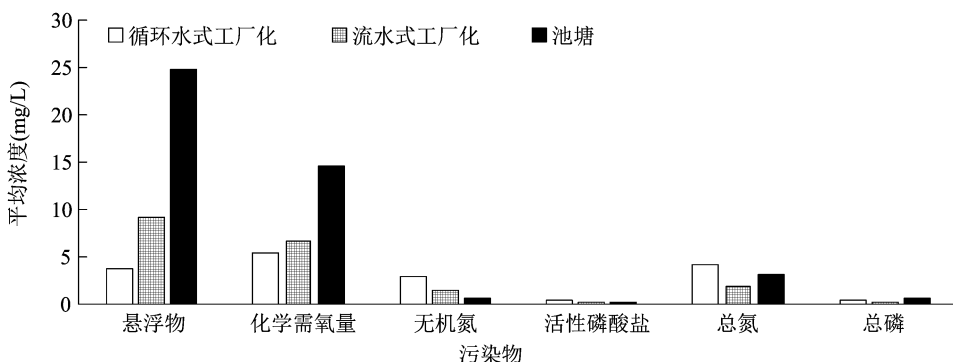


图2 不同养殖方式各污染物平均浓度

3 讨论

3.1 海水养殖对地表河流的影响

天津市海水养殖废水主要通过付庄排干、青静黄排水渠、北排水河等地表河流入海,根据养殖废水排放量和废水平均浓度,计算出海水养殖污染物排放情况(表4)。悬浮物、 COD_{Mn} 、无机氮、活性磷

酸盐、总氮和总磷年排放量依次是1 701.1、1 155.4、185.0、28.2、301.5、46.8 t。按各项污染物总量计,排入付庄排干、青静黄排水渠、北排水河的污染物量分别占各项污染物总量的92.3%、5.7%、1.7%。工厂化海水养殖各项污染物排放量比池塘养殖高,流水式工厂化养殖排放量比循环水式工厂化养殖高(图3)。

表4 海水养殖废水污染物排放情况

养殖类型	排放去向	污染物年排放量(t)						合计
		悬浮物	COD_{Mn}	无机氮	活性磷酸盐	总氮	总磷	
池塘	付庄排干	600.2	355.8	15.8	6.8	78.2	15.6	1 072.4
	青静黄排水渠	109.2	64.7	2.9	1.2	14.2	2.8	195.0
	北排水河	32.6	19.3	0.9	0.4	4.3	0.8	58.3
	未知	5.9	3.5	0.2	0.1	0.8	0.2	10.7
流水式工厂化	付庄排干	937.4	688.8	152.4	18.2	186.5	25.5	2 008.8
循环水式工厂化	付庄排干	15.8	23.3	12.8	1.5	17.5	1.9	72.8
合计		1 701.1	1 155.4	185.0	28.2	301.5	46.8	3 417.6

3.2 不同海水养殖方式达标减排对比情况

由表5可见,海水养殖要达标排放,池塘和工厂化海水养殖污染物每年共需减排:悬浮物含量

14.5 t, COD_{Mn} 228.9 t, 无机氮含量 126.6 t, 活性磷酸盐含量 21.6 t, 总氮含量 90.9 t, 总磷含量 9.8 t, 减排比例依次为0.9%、19.8%、67.7%、76.9%、

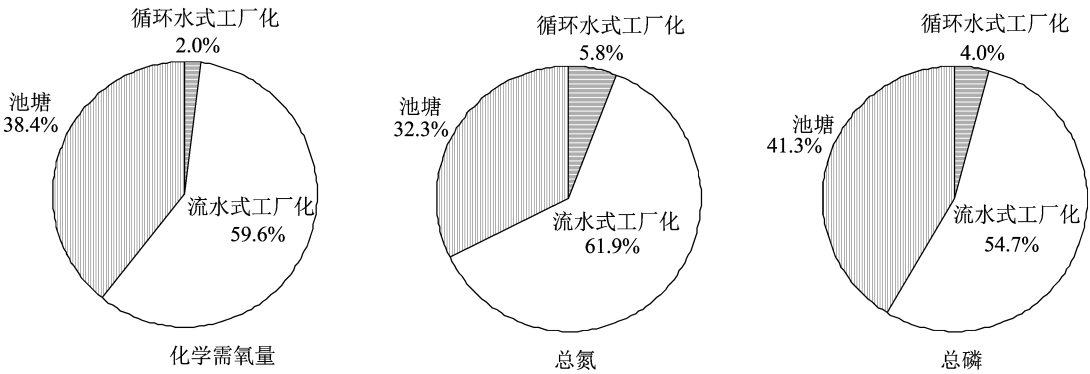


图3 不同养殖方式各污染物排放量占比

表5 海水养殖达标排放需减排情况

污染物	池塘				流水式工厂化				循环水式工厂化				达标年 总减排量 (t)	减排 比例 (%)
	超标平 均浓度 (mg/L)	超标率 (%)	超标 排水量 (万 m ³)	达标年 减排量 (t)	超标平 均浓度 (mg/L)	超标率 (%)	超标 排水量 (万 m ³)	达标年 减排量 (t)	超标平 均浓度 (mg/L)	超标率 (%)	超标 排水量 (万 m ³)	达标年 减排量 (t)		
悬浮物	48.9	5.4	1 63.5	14.5	/	0	0	0	/	0	0	0	14.5	0.9
COD _{Mn}	16.9	81.5	2 467.8	170.3	14.60	12.5	1 273.7	58.6	/	0	0	0	228.9	19.8
无机氮	1.06	51.6	1 562.4	8.7	1.702	87.5	8 915.7	107.2	3.006	100	426.0	10.7	126.6	68.4
活性磷酸盐	0.377	73	2 210.4	7.2	0.179	100	10 189.4	13.1	0.345	100	426.0	1.3	21.6	76.6
总氮	4.9	53.8	1 629.1	46.6	2.8	42.9	4 371.2	35.4	4.4	87.5	372.8	8.9	90.9	30.1
总磷	0.91	61.3	1 856.2	9.5	0.49	0	0	0	0.55	50	213.0	0.3	9.8	20.9

30.1%、20.8%。

池塘养殖各项污染物均需要大幅削减,循环水式工厂化养殖需要大幅削减无机氮、活性磷酸盐、

总磷、总氮含量,流水式工厂化养殖需要大幅削减 COD_{Mn}、无机氮、活性磷酸盐和总氮(图4)。

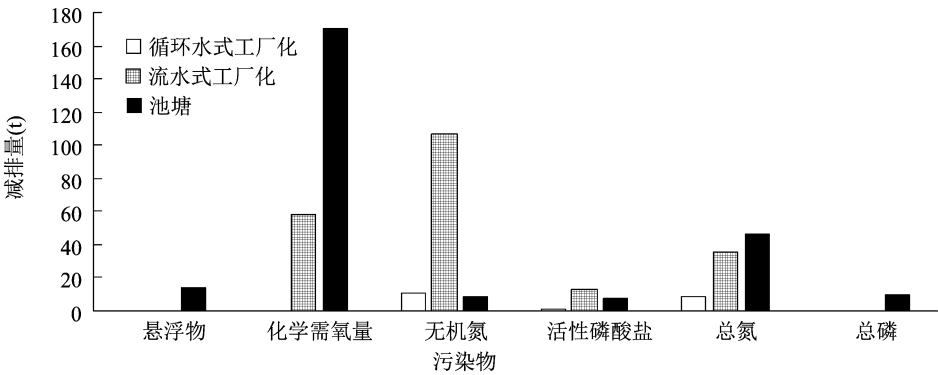


图4 不同养殖模式达标需减排量

3.3 不同工厂化养殖模式对污染物排放的影响

流水式工厂化养殖由于换水比例大,换水频率高,虽然氮、磷浓度低但废水排放量大,相对循环水式工厂化养殖的污染物排放量较高。如果将流水式工厂化养殖全部改造成循环水式工厂化养殖,按照现在2种方式的活动水平测算,将大大减少各项污染物的排放,年减排量为:悬浮物 862.0 t, COD_{Mn} 577.5 t, 无机氮 91.1 t, 活性磷酸盐 11.2 t, 总氮 102.9 t, 总磷 16.3 t, 减排比例依次为 92.0%、

83.8%、59.8%、61.5%、55.2%和 63.9%(表6)。

3.4 海水养殖污染防治对策

合理规划养殖水域。由环境容量确定水域适宜的生产规模是解决增养殖与环境间矛盾的有效途径。大面积集约化养殖,导致大量外源营养物质输入,残饵粪便产生水污染物,严重影响水环境^[18]。必须对水产养殖水面进行科学规划,确定养殖水体对营养元素的负载能力,由此确定水体的养殖容量,有效降低对水环境的影响^[19]。

表 6 海水养殖改造养殖类型减排情况

污染物	流水式年排放量 (t)	流水式改造循环水式年排放量 (t)	改造后年减排量 (t)	减排比例 (%)
悬浮物含量	937.4	75.4	862.0	92.0
COD _{Mn}	688.8	111.3	577.5	83.8
无机氮含量	152.4	61.3	91.1	59.8
活性磷酸盐含量	18.2	7.0	11.2	61.4
总氮含量	186.5	83.6	102.9	55.2
总磷含量	25.5	9.2	16.3	63.9

选择高质量饵料。饵料中含有大量营养元素,氮含量高达 6.56%,磷含量高达 1.0%^[20],残余饵料不仅会沉降池底导致底泥营养富集,残饵底质堆积,促使了微生物活动的加强,也加速了营养盐的再生。另外部分营养盐还会溶解在水中,严重污染水环境。降低饵料系数,减少残饵剩余,是从养殖过程前段有效控制水污染的重要措施^[21]。

加强海水养殖废水的处理和养殖水循环利用技术^[22]。一方面天津市海水养殖废水超过 90% 未经处理直接排放。工厂化养殖多为连续排水,但尾水处理比例低,据调研仅为 6.3%;受季节影响,池塘养殖每年在 9、10 月份集中清坑排水,均未经净化处理直排入海河流,短时间内大量废水排入,对部分入海河流产生重要影响,进而影响入海口周边海水水质。必须因地制宜,选择合适的养殖废水处理技术加强养殖废水的处理。另一方面循环水普及率低,废水排放量大。目前采用的循环水设施处理技术均未考虑对氮磷营养物质的去除,循环时间越长,浓度越高,排放水平越高,对水环境影响也越严重^[23]。因此,在循环水设施的设计上要加以考虑对水环境的保护。

加强监督管理。目前天津市还未出台海水养殖相关的标准,农业农村部出台的为推荐性地方标准,在控制项目和限值方面有一定程度的不适用。相关管理部门应加强对海水养殖废水排放的监督管理,以制度形式来实现对水体污染的有效防治^[24]。

4 结论

研究表明,天津市池塘海水养殖污染物的超标污染因子是 COD_{Mn}、活性磷酸盐和总磷,工厂化海水养殖污染物的超标污染因子是无机氮、活性磷酸盐和总氮。工厂化海水养殖污染物排放量大于池塘海水养殖,循环水式较流水式工厂化养殖可大大减少污染物排放;海水养殖对付庄排干的影响最大;

要实现达标排放,海水养殖需大幅削减污染物排放,应大力发展循环水养殖模式,同时科学投饵并设置合理的养殖密度。

参考文献:

- [1] 贾文平,傅志茹,张 韦. 天津地区海水工厂化养殖现状和建议[J]. 河北渔业,2018(5):27-29,49.
- [2] 辛乃宏,张树森,杨永海,等. 天津海水工厂化养殖发展历程与现状分析[J]. 渔业现代化,2019,46(2):1-6.
- [3] 宗虎民,袁秀堂,王立军,等. 我国海水养殖业氮、磷产出量的初步评估[J]. 海洋环境科学,2017,36(3):336-342.
- [4] 崔 毅,陈碧鹃,陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评估[J]. 应用生态学报,2005,16(1):180-186.
- [5] 蔡慧文,卓丽飞,吴常文. 海水养殖污染负荷评估研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版),2014,33(6):558-567.
- [6] Cao L, Wang W M, Yang Y, et al. Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China[J]. Environmental Science and Pollution Research - International, 2007,14(7):452-462.
- [7] 袁秀堂,张升利,刘述锡,等. 庄河海域菲律宾蛤仔底播增殖区自身污染[J]. 应用生态学报,2011,22(3):785-792.
- [8] 阚文静,范德江,张秋丰,等. 渤海湾天津近岸海域水质特征及评价[J]. 海洋湖沼通报,2016(1):25-29.
- [9] 夏丽华,徐 珊,陈智斌,等. 广东省海岸带海水养殖业污染贡献率研究[J]. 广州大学学报(自然科学版),2013,12(5):80-86.
- [10] 操建华. 水产养殖业自身污染现状及其治理对策[J]. 社会科学家,2018(2):46-50.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. 海洋监测规范 第 4 部分:海水分析:GB 17378.4—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007:88-91,101-103,109-120.
- [12] 国家海洋局. 海洋监测技术规程 第 1 部分:海水:HY/T 147.1—2013[S]. 北京:国家海洋局,2013:23-25.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. 海洋调查规范 第 4 部分:海水化学要素调查:GB 12763.4—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007:25-26.
- [14] 张玉珍,洪华生,陈能汪,等. 水产养殖氮磷污染负荷估算初探[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2003,42(2):223-227.
- [15] 农业部. 海水养殖水排放要求:SC/T 9103—2007[S]. 北京:农业部,2007:1-2.

陈曦,江贻伟,丁洁,等. 生物炭施用对节水灌溉稻田土壤氮素含量及脲酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(19):268-274.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.19.056

生物炭施用对节水灌溉稻田土壤氮素含量及脲酶活性的影响

陈曦¹,江贻伟¹,丁洁¹,蔡敏²,杨士红^{1,3}

(1. 河海大学农业工程学院,江苏南京 210098; 2. 南京市秦淮河河道管理处,江苏南京 210012;

3. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏南京 210098)

摘要:为探究生物炭施用对节水灌溉稻田土壤氮素迁移转化的影响,基于田间试验,分析不同水碳调控条件下稻田土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量及脲酶活性的变化规律。结果表明,节水灌溉稻田表层土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量在水稻生育前期较高,乳熟期开始 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量较高。施加高量(40 t/hm²)生物炭处理土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量比不施炭处理(0 t/hm²)提高 26.47%;施加生物炭使土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量与脲酶活性分别提高 7.52%~22.29%、13.87%~26.68%。不同灌溉方式下土壤脲酶活性在水稻全生育期均无显著差异,但以淹水灌溉条件下脲酶活性较高。与传统淹水灌溉相比,节水灌溉稻田表层土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量分别增加了 67.46%、67.19%,减小了稻田氮素淋失的风险。生物炭与节水灌溉的联合调控有利于增强土壤对水溶性氮素离子的固持,减少氮素的淋失。

关键词:节水灌溉;生物炭;稻田;氮素迁移;土壤脲酶活性

中图分类号: S275;S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)19-0268-07

近年来,随着点源污染的有效控制,农业面源污染已经成为我国湖泊水体富营养化的主要污染源之一^[1],而化肥污染是农业面源污染的最大来源^[2]。由于化肥在作物增产中的重要作用,自 1993

年以后,我国一直是世界第一的化肥消耗大国^[3]。水稻作为我国主要粮食作物,其种植面积和产量分别占世界的 22.7%、37%^[4],稻田单季氮肥平均用量为 180 kg/hm²,比世界平均用量约高 75%^[5]。大量的氮肥施用后,并不能被植物全部利用,研究表明,我国水稻生产中,氮肥的平均利用率为 30%~35%,高产地区甚至更低^[6-7],大部分氮肥经挥发、径流、淋溶、硝化、反硝化等途径损失于环境之中。在稻田面积占比较大的太湖地区,每年施氮量高达 500~600 kg/hm²^[8],农田面源污染总氮输出量约占氮素入湖总量的 41.5%^[9],人们越来越关注高氮负荷下的环境问题。因此,研究稻田土壤氮素迁移转

收稿日期:2020-01-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:51879076,51579070);中央高校基本科研业务费专项资金(编号:2019B67814);江苏省研究生科研创新计划(编号:SKJY19_0525);江苏省水利科技项目(编号:2018065)。

作者简介:陈曦(1996—),女,四川安岳人,硕士研究生,主要从事节水灌溉与农田生态效应研究。E-mail:sunrise@hhu.edu.cn。

通信作者:杨士红,博士,教授,主要从事节水灌溉与农田生态效应研究。E-mail:ysh7731@hhu.edu.cn。

[16] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S]. 北京:国家环境保护总局,2002:2.

[17] 天津市环境保护局,天津市市场和监督管理委员会. 污水综合排放标准:DB12/356—2018[S]. 天津:天津市环境保护局,2018:5.

[18] Dénes G, Ferenc P, éva K. A survey on the environmental impact of pond aquaculture in Hungary[J]. Aquaculture International, 2016, 24(6):1543-1554.

[19] 刘明庆,席运官,陈秋会,等. 水产养殖环境管理与污染减排的政策建议[J]. 中国环境管理,2019(1):90-94.

[20] 张韦,缴建华. 天津地区水产养殖氮磷污染负荷估算初探[J]. 科学养鱼,2018(6):54-56.

[21] 王军,姜冰,韩家波,等. 辽宁省池塘养殖废水排放的分布及其对水环境的影响[J]. 水产科学,2013,32(3):165-170.

[22] 吴彦,赵海涛,孙桂清,等. 海水工厂化养殖污染物减排效果研究与评价[J]. 河北渔业,2018(12):1-4.

[23] 王雪惠,耿绪云,刘岳,等. 天津汉沽海水工厂化养殖现状及发展对策[J]. 天津水产,2013(1):13-18.

[24] 俞瑞高. 水产养殖环境的污染及其控制对策探讨[J]. 江西农业,2016(14):28.