

陈一良,史 浩,戴 成,等. 沼液养鱼对池塘水体环境及鱼品质的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(15):212–216.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2020.15.038

# 沼液养鱼对池塘水体环境及鱼品质的影响

陈一良<sup>1</sup>, 史 浩<sup>1</sup>, 戴 成<sup>2</sup>, 蒋广震<sup>3</sup>, 荆丹丹<sup>1</sup>, 韩建刚<sup>1</sup>, 李萍萍<sup>1</sup>  
[1. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏南京 210037; 2. 中粮肉食(江苏)有限公司, 江苏东台 224200;  
3. 南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095]

**摘要:**将沼液用于水产养殖已在生产实践中取得了良好的成效,但沼液施用过程中对水体环境及鱼品质的影响有待研究阐明。通过大塘沼液养鱼试验,考察了沼液施用对池塘水质指标、池塘底泥以及鱼肉品质的影响。结果表明,与对照相比,沼液养殖池塘水中的溶解氧含量提高,氨氮、总磷含量有所上升但未超过相关国家标准,化学需氧量(COD)比对照组高,添加沼液池塘重金属含量和对照塘无明显差异,都存在部分重金属超标;池塘底泥中有机质、全氮、总磷含量有所增加,重金属含量处于中度污染水平;施用沼液增加了鱼产量,添加沼液后鱼的品质与对照鱼差异不大,鱼肉重金属含量未超标。

**关键词:**沼液;养鱼;水产养殖;底泥;重金属;水体环境

**中图分类号:** S964.3;X52      **文献标志码:** A      **文章编号:**1002–1302(2020)15–0212–05

我国池塘养殖在水产养殖中的占比较大。沼液养殖过程中的干扰因素很多,不仅影响养殖池塘水质,也会影响着水产品的产量和品质<sup>[1–3]</sup>。沼液是厌氧发酵的液相残留物,未经固液分离时呈半流体泥浆状,固液分离后上清沼液为深色悬浊液<sup>[4]</sup>。经水解酸化菌、甲烷菌等微生物作用后,沼液碳氮比(C/N)大幅下降,pH值呈中性或微碱性。利用沼气发酵过程中产生的沼液养鱼是池塘养殖中一个重要的研究方向,但沼液养鱼对池塘水体环境和鱼产量、品质都可能产生影响。沼液养鱼相关研究自20世纪70年代末就已开始<sup>[5]</sup>。在进行沼液养殖过程中,若施用沼液不合理,使投入的氮(N)、磷(P)等营养物质过量,就可能导致养殖水域富营养化,同时直接通过换排水或渗漏流出的营养盐也将对环境造成污染<sup>[6–7]</sup>。此外,沼液中的重金属可能会通过食物链进入人体,对人类健康造成危害<sup>[8]</sup>。本试验通过大塘对比试验,对沼液养鱼的环境效应、产量效应及产品品质等进行分析,以期对沼液养鱼中沼液的合理施用提供依据。

收稿日期:2019–09–01  
基金项目:江苏省农业科技支撑项目(编号:BE2013382);中国博士后科学基金(编号:2017M621755);污染控制与资源化研究国家重点实验室开放课题(编号:PCRRF14020)。  
作者简介:陈一良(1978—),男,湖北蕲春人,博士,副教授,主要从事水污染控制与资源化、农林废弃物综合利用等方面的研究。  
E-mail:chenyiliang@njfu.edu.cn。

## 1 材料与方法

### 1.1 沼液理化性质

沼液的主要理化性质如下:pH值为7.8~8.4,电导率为4.6 mS/cm,总氮、氨氮、总磷、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{K}^+$ 、氨基酸、化学需氧量(COD)、铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)、铬(Cr)、铅(Pb)含量依次为1 330.50、1 209.20、51.70、36.50、348.70、29.08、5 788.00、3.12、5.76、0.12、0.12、0.22 mg/L。

### 1.2 沼液养鱼及采样方案

试验用养殖池塘位于江苏省东台市梁南垦区内。试验设置4个沼液池塘和1个未施加沼液的池塘,并分别标记为池塘1、池塘2、池塘3、池塘4和对照塘。各养殖池塘平均水深2.0 m,均以鲫鱼为主养品种,放养规格为1 400尾/666.67 m<sup>2</sup>。各池塘沼液施加量如表1所示。

表1 4个养殖池塘沼液施加量

时间	沼液施加量(m <sup>3</sup> )				
	对照塘	池塘1	池塘2	池塘3	池塘4
2015年7月	0	136	136	136	208
2015年8月	0	184	136	136	216
2015年9月	0	104	120	248	200
2015年10月	0	128	112	104	112
2015年11月	0	16	16	16	16
2015年12月	0	16	104	88	104
2016年1月	0	0	16	16	16
总量	0	584	640	744	872

试验期间,各项水质指标每月至少监测 1 次。实验室分析所用水样为由 JC-800 型有机玻璃采样器取自各池塘水面下 0.5 m 处的混合样,带回实验室后立即分析。池塘底泥为多点混合样,采集后的底泥风干后分析,池塘鱼样均为随机捕捞。

### 1.3 分析方法

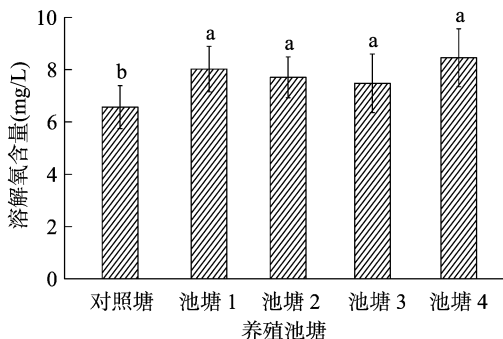
水样中的溶解氧(DO)含量用 LDO 便携式溶氧仪(哈希公司)现场测定;氨氮、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、总氮、总磷、磷酸盐、重金属含量分别用水杨酸分光光度法、盐酸萘乙二胺分光光度法<sup>[9]</sup>、碱性过硫酸钾消解法、钼酸铵分光光度法、钼锑抗分光光度法、电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)<sup>[10]</sup>进行测定。底泥中全氮、总磷、有机质含量分别用凯氏法、碱溶-钼锑抗分光光度法、高温外热重铬酸钾氧化-容量法测定;土样消解后,用 ICP-AES 测定重金属含量。鱼肉中的蛋白质、氨基酸、脂肪、灰分、重金属含量分别用凯氏定氮法、氨基酸分析仪(S-433D 型,德国 SYKAM)、索氏抽提法、直接灼烧法、ICP-AES(Optima 5300 DV 型,美国 PE 公司)测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 沼液养鱼对水体环境的影响

#### 2.1.1 养殖池塘水质变化

2.1.1.1 池塘水体 DO 含量变化 如图 1 所示,各池塘 DO 含量不同可能是由于检测时空气温度、气压不同造成的<sup>[11]</sup>。4 个施加沼液的池塘水体 DO 含量都显著高于对照塘。陈英义等认为,水中 DO 含量上升是因为沼液中的营养物质与植物生长调节剂等有助于浮游植物生长繁殖,大量生长的浮游植物进行光合作用,提高了水体的 DO 含量<sup>[12]</sup>。



柱上不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。图 3-b 同

图1 不同池塘水中 DO 含量平均值

2.1.1.2 池塘水体 COD 含量的动态变化 由图 2 可以看出,在 7—10 月份 5 个池塘水体总体水体

COD 含量<sup>[13]</sup>都有所升高,但施加沼液池塘水体 COD 含量的变化趋势要比对照塘更加明显,且施加沼液池塘水体的 COD 含量一直大于对照塘。这与徐会等的研究结果<sup>[13]</sup>基本一致。4 号塘 COD 含量在试验之初最高,且试验前期均高于其他处理;3 号塘 COD 含量在 9 月份最高。结合表 1 中 7、9 月沼液的施加量可以看出,COD 的变化与沼液的施加量具有直接的关系,施加沼液会导致水体 COD 含量增多,且总体上施加的沼液越多水体 COD 含量变化趋势越大。根据本试验的结果可知,施加沼液使得池塘水体的 COD 含量升高,这是因为沼液中含有很多耗氧的复杂有机质。

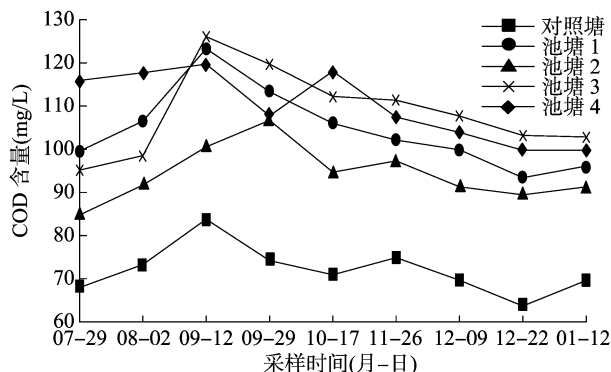


图2 不同池塘水中 COD 含量变化

2.1.1.3 池塘水体氨氮、磷酸盐含量的变化 沼液施用后对不同时间段池塘水体中氨氮含量<sup>[14]</sup>进行测定,由如图 3-a 可看出,施加沼液池塘水体氨氮含量都呈波动变化趋势,各处理组的差异不明显,虽然处理组含量都高于对照塘,但并未超过 GB11607-89《渔业水质标准》中的规定。水体中的氨氮对鱼类的生长影响很小且对周围环境没有影响。这是因为自然池塘水体中有大量浮游生物,投入水体的氨氮已大部分被浮游植物利用。

活性磷可直接被水生植物吸收利用<sup>[15-16]</sup>。对池塘水样中  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  含量数据的平均值进行分析,从图 3-b 可以看出,施加沼液塘水体的  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  含量都显著高于对照塘。 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  含量与鱼体摄入  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  的最适需求<sup>[17]</sup>相差不大,适合鱼类生存。 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  含量增加是因为随着养殖时间延长,施加沼液塘水体中有机物被水生生物分解产生  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ ,通过水生生物及鱼类的代谢,使水体中  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  含量不断增加。

2.1.1.4 池塘水体重金属含量变化 表 2 结果显示,至养殖期末,各池塘水体重金属含量均有增加,且大部分重金属含量超过 GB 11607—89《渔业水质

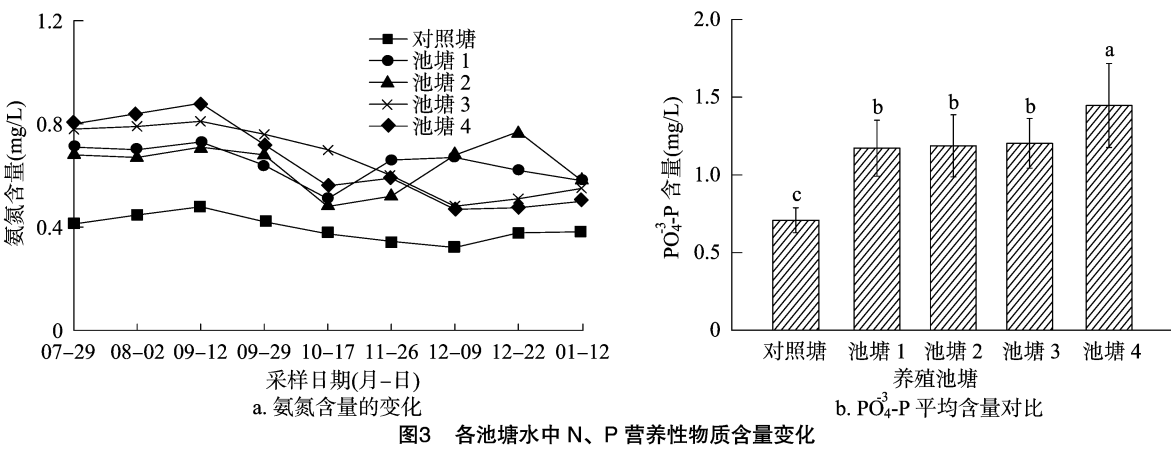


表 2 不同池塘水体重金属含量变化

时间	池塘	重金属含量 (mg/L)					
		Pb	Cr	Cd	Cu	Zn	Ni
	标准限值	0.05	0.1	0.005	0.01	0.1	0.05
7 月	对照塘	—	—	—	0.04	0.06	—
	池塘 1	—	—	—	0.03	0.08	—
	池塘 2	—	—	—	0.01	0.05	—
	池塘 3	—	—	—	—	0.05	—
	池塘 4	—	—	—	—	0.04	—
1 月	对照塘	0.06	0.11	0.21	0.20	0.02	0.10
	池塘 1	0.14	0.24	0.19	0.19	0.06	0.09
	池塘 2	0.10	0.11	0.18	0.19	0.05	0.09
	池塘 3	0.05	0.09	0.17	0.18	0.10	0.08
	池塘 4	0.14	0.11	0.19	0.19	0.04	0.09

注:8—12 月的数据省略。“—”表示未检出,表 6 同。

标准》中规定的浓度限值。但意外的是,施加沼液的 4 个池塘水体的重金属含量总体不高于对照塘。水体重金属浓度增加可能是因为投放饲料引起的,具体原因还有待进一步研究确定。

2.1.2 养殖池塘底泥理化性质的变化 重金属能在池塘底泥中沉积,也可重新释放到水中,通过食物链传递影响水生生物以及人类的健康,因而,有必要考察沼液养鱼池塘底泥中重金属含量的变化<sup>[18]</sup>。底泥是底栖动物和细菌栖息、活动的重要场所,各种营养物质也大多蓄积于此,在营养物质的沉淀和释放方面起着重要作用,对水体富营养化的形成有着重要的影响<sup>[19]</sup>。因此,底泥中氮、磷等营养物质含量动态变化研究对于调控养殖池塘的施肥量有着极其重要的意义。

2.1.2.1 底泥养分含量变化 从图 4 可以看出,随着养殖时间推进,施加沼液池塘和对照塘底泥有机质、总磷和全氮含量均有所增加,总体上来看,营养

物质在沼液中的增量比对照低,这是因为沼液塘通过施加沼液肥水,提高了鱼类和藻类对于营养物质的利用率,使得底泥中有机质、全氮、总磷累积量低于对照塘。但随着沼液投加量的增大,池塘底泥的有机质、全氮、总磷含量的增量有上升趋势,表明鱼类和藻类对于营养物质的利用率有限,大量施加沼液可能会造成底泥中营养物质累积而对养鱼无益。

2.1.2.2 底泥重金属含量变化 本试验测定了各池塘底泥重金属含量,并用内梅罗综合污染指数法<sup>[20]</sup>进行评价。从表 3 可以看出,施加沼液池塘和对照塘的 Cd、Zn 含量均值超过了标准限值。池塘 2 的 Cu 含量均值也超过 3 标准限量,所有处理的 Pb、Cr 含量未超标。综合污染指数表明,施加沼液池塘底泥重金属处于中度污染水平。

2.2 沼液养鱼的产量和品质分析

2.2.1 沼液养鱼对产量的影响 根据养殖池塘品种、数量和养殖池塘沼液施加量,结合表 4 可知,施

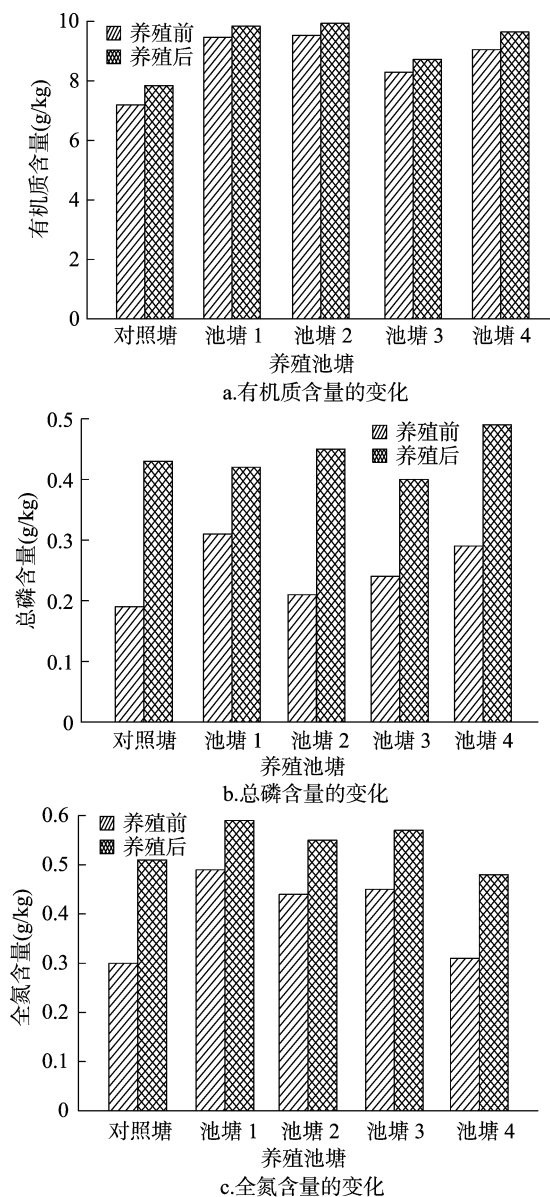


图4 池塘底泥有机质、总磷、全氮含量变化

表 3 不同池塘底泥重金属含量

池塘	重金属含量 (mg/kg)					综合污染指数
	Pb	Cr	Cu	Cd	Zn	
标准限值	50.00	50.00	30.00	0.50	150.00	
对照塘	10.30	9.13	18.00	0.73	277.05	1.44
池塘 1	18.53	18.08	25.95	1.85	355.85	2.83
池塘 2	16.18	19.00	38.45	1.85	344.75	2.85
池塘 3	20.90	18.13	21.58	1.93	266.23	2.90
池塘 4	21.58	22.83	19.90	1.98	215.33	2.98

注:标准限值数据出自 GB/T 18407.4—2001《农产品安全质量无公害水产品产地环境要求》。

加沼液养殖池塘较对照塘鱼产量均有不同程度的增加。这是因为沼液作为鱼类饲料添加剂可补充鱼类在生长发育过程中所需的氨基酸、维生素及少量的矿物质、微量元素。从鱼产量(增产)来看,施加沼液池塘鲫鱼比对照塘分别提高 2.60%、2.39%、0.53%、1.70%,且 4 个沼液塘的鱼成活率均比对照塘高,沼液养鱼过程中未出现鲫鱼发病死亡现象,这可能是因为沼液能抑制和减少鱼病的发生。大塘沼液养鱼结果表明,沼液施用能够节省饲料和增产,具有提高产量的作用<sup>[21]</sup>,本试验结果与之相符。

## 2.2.2 沼液养鱼对鱼肉品质的影响

**2.2.2.1 鱼肉水分、脂肪和蛋白质含量** 鱼肉中水分含量占肉的 70%~80%,是鱼体最主要的成分。脂肪对鱼肉的营养价值、食用品质包括质地、风味等有重要影响。表 5 检测数据表明,施加沼液养殖塘鲫鱼的水分含量均比对照塘高,池塘 2、3、4 鱼的粗脂肪含量较对照塘低。本试验测量出的添加沼液池塘鱼体内的水分、粗脂肪、粗灰分、粗蛋白的含

表 4 不同池塘鱼产量情况

池塘	初始放养		成活率 (%)	最终质量		增产 (kg/667 m <sup>2</sup> )
	单尾均质量 (kg)	总质量 (kg/667 m <sup>2</sup> )		单尾均质量 (kg)	总质量 (kg/667 m <sup>2</sup> )	
对照塘	0.09	126.0	90.5	0.52	658.84	532.84
池塘 1	0.09	126.0	92.4	0.52	672.67	546.67
池塘 2	0.08	108.0	93.1	0.52	653.56	545.56
池塘 3	0.10	135.0	92.0	0.54	670.68	535.68
池塘 4	0.10	140.0	91.9	0.53	681.90	541.90

量与对照塘相比,并没有太大区别。

**2.2.2.2 鱼肉重金属含量** 由表 6 可知,常规养殖和沼液养殖鱼样各重金属元素含量均处于较低水平,且无明显差异。鱼肉中 Cd、As、Pb 含量符合 GB 2733—2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》,Cr 含

量符合 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》,Cu 含量符合 NY 5073—2006《无公害食品 水产品中有毒有害物质限量》标准,表明养殖鱼类没有受到 Cd、As、Pb、Cr、Cu 等重金属的污染。虽然水体中重金属含量超标,但重金属在鱼的

表 5 鲫鱼营养成分含量

鲫鱼	营养成分含量(%)			
	水分	粗脂肪	粗灰分	粗蛋白
对照鱼	69.55	7.50	6.38	16.45
池塘 1 鱼	70.63	8.29	4.11	15.08
池塘 2 鱼	72.77	3.13	5.44	16.22
池塘 3 鱼	72.39	7.49	3.88	15.52
池塘 4 鱼	72.31	1.90	6.09	17.42

表 6 鲫鱼肉中重金属含量

鲫鱼	重金属含量(mg/kg)				
	Cd	As	Pb	Cr	Cu
标准限值	0.1 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	2.0 <sup>b</sup>	50 <sup>c</sup>
对照鱼	0.026	0.030	0.030	0.311	0.660
池塘 1 鱼	0.026	0.034	0.060	0.356	0.694
池塘 2 鱼	0.026	0.011	0.034	0.563	0.548
池塘 3 鱼	0.011	—	0.045	0.513	1.190
池塘 4 鱼	0.056	—	0.109	0.536	0.413

注:上标 a、b、c 分别表示 GB 2733—2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》、GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》、NY 5073—2006《无公害食品 水产品中有毒有害物质限量》。

体内富集情况并不明显,可能是由于在鱼的代谢中被排除体外<sup>[22-24]</sup>。

3 结论

沼液养鱼中池塘水中的 N、P 含量较对照塘有所增加但未超标,水中溶解氧含量的增加得益于浮游植物的光合作用,施加沼液使 COD 含量上升,添加沼液池塘和对照塘水中的重金属含量均有上升,存在部分重金属超标现象。底泥中有机质、鱼氮、总磷含量有所增加,但重金属含量处于中度污染水平。相比传统养殖,施用沼液可增加鱼的产量,产生较好的经济效益;添加沼液后鱼品质与对照鱼无明显差异,鱼体内的重金属含量未超标。

参考文献:

[1] 郑志诚,应利平. 光唇鱼池塘循环水养殖技术初探[J]. 江西水产科技,2018(1):21-23.

[2] 庄夕栋,陈明生. 畜禽养殖用水污染的危害[J]. 中国畜牧兽医文摘,2018,35(5):7.

[3] Chen Z,Ge H X,Chang Z Q,et al. Nitrogen budget in recirculating aquaculture and water exchange systems for culturing *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Ocean University of China,2018,17(4):905-912.

[4] 翟军委. 沼液综合利用[J]. 现代农业,2018(6):36-37.

[5] 李元高,潘海敏,敬巧巧. 畜禽养殖废水厌氧发酵沼液及沼渣成

分研究[J]. 科技资讯,2016,14(7):53-54.

[6] 冯灵芝. 沼液资源化利用及存在问题[J]. 农技服务,2017,34(18):123-126.

[7] 赵秀侠,杨坤,方婷,等. 3种微藻在龟鳖养殖废水中的生长与脱氮除磷特性[J]. 水资源保护,2018,34(1):83-87.

[8] 辛格,高亚茹,陈国松,等. 沼液成分与重金属含量分析[J]. 化工时刊,2018,32(1):9-16.

[9] 窦宏亮,李东明,刘亚芹,等. 应用便携式快速水质检测仪测定生活用水中的亚硝酸盐[J]. 分析仪器,2018(1):32-35.

[10] 杨彦洁,康瑞龙,盛明泽. ICP-AES 及其应用研究论述[J]. 化工管理,2016(24):204.

[11] 刘可群,汤阳,黄水平,等. 养殖水体溶氧平衡的实验分析及泛塘成因再探讨[J]. 中国农学通报,2015,31(2):131-137.

[12] 陈英义,程倩倩,等. 主成分分析和长短时记忆神经网络预测水产养殖水体溶解氧[J]. 农业工程学报,2018,34(17):183-191.

[13] 徐会,汤传栋,刘贺,等. 水产养殖水体 UV<sub>254</sub> 和 COD 值相关性研究[J]. 安徽农学通报,2016,22(20):67-69.

[14] Mook W T, Chakrabarti M H, Aroua M K, et al. Removal of total ammonia nitrogen (TAN), nitrate and total organic carbon (TOC) from aquaculture wastewater using electrochemical technology: a review[J]. Desalination,2012,285:1-13.

[15] Yin H, Yang C, Jia Y, et al. Dual removal of phosphate and ammonium from high concentrations of aquaculture wastewaters using an efficient two-stage infiltration system[J]. Science of the Total Environment,2018,635:936-946.

[16] 潘军标,王栋,王趁义,等. 碱蓬对富营养化海水养殖水体中氮磷的去除研究[J]. 环境保护科学,2018(2):37-41.

[17] Rodehutsord M, Gregus Z, Pfeffer E. Effect of phosphorus intake on faecal and non-faecal phosphorus excretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the consequences for comparative phosphorus availability studies[J]. Aquaculture,2000,188(3/4):383-398.

[18] Bian B, Lin C, Lv L. Health risk assessment of heavy metals in soil-plant system amended with biogas slurry in Taihu basin, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(17):16955-16964.

[19] 陈壁波,黄璇卿,曾运萍. 虾类养殖水体水质及底泥条件对养殖生态系统的影响[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报,2018,31(5):23-25,31.

[20] 杨俊丽,吴雪,李希磊,等. 莱州湾扇贝养殖区表层沉积物质量评价[J]. 水产科学,2018,37(3):75-81.

[21] Chowdhury P, Viraraghavan T, Srinivasan A. Biological treatment processes for fish processing wastewater—A review[J]. Bioresource Technology,2012,101(2):439-449.

[22] 施沁璇,孙博悌,胡晓波,等. 水生植物对养殖池塘重金属污染底泥的修复作用[J]. 安全与环境学报,2018,18(5):1956-1962.

[23] 胡天印,谢佩君,晏丽蓉,等. 菹草对底泥中重金属污染的修复效果[J]. 生态科学,2014,33(6):1182-1188.

[24] 徐慧,程岩雄,张玲茜,等. 渔业养殖环境底泥中重金属含量的调查分析[J]. 农业与技术,2018,38(21):33-34.