

Investigation of *Limnodilus hoffineisteri* on Heavy Metals Enrichment in Pig Manure and Water Quality

Weiwei Huang, Quan Yuan, Weiwei Lv, Xiaolin Sun, Wenzong Zhou*

Eco-Environmental Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai
Email: *zhouwz001@163.com

Received: Jul. 31st, 2020; accepted: Aug. 20th, 2020; published: Aug. 27th, 2020

Abstract

Heavy metal contents in *Limnodilus hoffineisteri* will affect the growth and quality of special aquatic animals, which was the main restriction factor for utilization. This study investigated the *Limnodilus hoffineisteri* on heavy metals enrichment in pig manure and rice and fish farming water quality and the results indicated that *Limnodilus hoffineisteri* can significantly reduce the content of copper and zinc in pig manure, with the copper content in the dried hymeniaceae only about 2% of that in pig feces, zinc reduced to about 14% in pig feces, while it has certain enrichment effects on Pb, Cr and As. The average content of Cd, Cr, Hg and As in the water body after *Limnodilus hoffineisteri* treatment was < 0.001 mg/L, and the content of copper, lead, and zinc is about 0.02 mg/L. The paddy field and rice-fish farming area can effectively utilize ammonia nitrogen and nitrate nitrogen from the effluent of *Limnodilus hoffineisteri* cultivation area, increase dissolved oxygen content in the water body, meanwhile, the content of nitrogen and phosphorus nutrients were also significantly reduced through the rice-fish farming area.

Keywords

Limnodilus hoffineisteri, Pig Manure, Heavy Metal, Water Quality, Rice and Fish Farming

水丝蚓对猪粪重金属的富集作用及周边水质影响研究

黄伟伟, 袁 泉, 吕巍巍, 孙小淋, 周文宗*

上海市农业科学院, 生态环境保护研究所, 上海

*通讯作者。

Email: *zhouwz001@163.com

收稿日期: 2020年7月31日; 录用日期: 2020年8月20日; 发布日期: 2020年8月27日

摘要

水丝蚓中重金属的含量会影响特种水生动物的生长和品质,是水丝蚓资源化利用的主要制约因素。本文研究了利用新鲜猪粪培育水丝蚓的过程中水丝蚓对猪粪重金属的富集作用及周边稻田水质的影响。结果表明:水丝蚓可以显著降低猪粪中Cu、Zn的含量,Cu在水丝蚓干的含量仅有猪粪含量的2%左右,而Zn在水丝蚓干的含量降低至猪粪含量的14%左右,但对猪粪中的Pb、Cr、As发生了一定的富集作用。水质结果表明,水丝蚓处理后的水体Cd、Cr、Hg、As的平均含量均低于0.001 mg/L,铜、铅和锌的含量约为0.02 mg/L,去除效果差异显著。稻田种植区及稻渔共作区可以有效利用水丝蚓培育区出水的氨态氮和硝态氮,增加水体的溶解氧,同时,总氮和总磷经过稻渔共作区后,其含量也明显降低。

关键词

水丝蚓, 猪粪, 重金属, 水质, 稻渔共作

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水蚯蚓(亦称丝蚯蚓、红线虫、沟虫等)是淡水中最常见的底栖动物,属环节动物门、寡毛纲、近孔寡毛目、颤蚓科(Tubificidae)、水丝蚓属(Limnodrilus),是淡水底栖动物区系的重要组成部分,同时可以作为水产动物的开口饵料。

目前,关于水丝蚓的研究主要集中在重金属、农药、洗衣粉、染料苯、苯酚、硝基苯等对水丝蚓的急性毒性作用[1][2][3],水丝蚓对鱼蟹虾苗种生长和成活率的影响[4][5]以及水丝蚓的生物扰动作用等方面[6][7]。利用新鲜猪粪培育水丝蚓,猪粪不需要发酵、处理效率高(每年每亩处理20吨猪粪)、占地面积少、投资成本低(主要是劳力成本)、经济效益高、环境效益好等优点,同时,水丝蚓的产量可以大幅度提高,为稻田综合种养结合中水生动物提供充足的适口饵料,残余的粪便也可作为有机肥促进水稻生产,相当程度地解决了稻渔共作中养殖产量不稳定的难题,减少农药和化肥用量。

尽管如此,由于水丝蚓中重金属的含量会影响特种水生动物的生长和品质,是水丝蚓资源化利用的主要制约因素。水丝蚓在利用猪粪培育的过程中是否会对猪粪中的重金属产生一定的富集作用,从而进一步影响水产动物;且水丝蚓在培育过程中对稻渔工作区的水质影响如何?目前,还很少有相关方面的研究。周泉勇等研究了采用猪粪污养殖水蚯蚓的产量、水蚯蚓粉中重金属含量,发现水蚯蚓粉中铜、锌、镉和铅等重金属含量符合国家标准饲料规定含量[8]。然而,关于水丝蚓处理猪粪后对周边的水质的影响并没有相关报道。本试验通过对猪粪培养基地定时定点采样的方法,分析重金属在水丝蚓和蚓粪中的分配情况及对周边水质的影响,为猪粪在水丝蚓培育中利用、周边稻田综合种养的水体环境提供一定的理论基础和实际的现实意义。

1.1. 材料与方法

1.1.1. 供试材料

本试验在上海青浦和江苏常熟基地地方开展。试验中使用的猪粪来自于当地养猪场，通过运输车运至试验开展地。试验中使用的水丝蚓来自于上海青浦练塘水丝蚓养殖基地和常熟大义水丝蚓养殖基地。常熟基地为水丝蚓养殖区和稻鳢共作区的循环区域，在该循环区域，水丝蚓养殖区的出水经环形沟水稀释后到达稻田。

1.1.2. 研究过程

选取新鲜的猪粪及水丝蚓，将水丝蚓置于猪粪中喂养，每 15 天对猪粪、水丝蚓粪、水丝蚓进行取样，将样品进行室温风干消解后测定样品中重金属含量；对上述水丝蚓培育基地水丝蚓培育区、周边单独稻田种植区、稻鳢共作现场使用便携式水质分析仪(HACH HQ40d)测定溶解氧(DO)、电导率和 pH，并采集水样，带回实验室，于 24 h 内测量氨氮、硝酸盐氮、总氮、总磷。试验周期为 90 天。

重金属 Cu、Cd、Pb、Zn 含量的测定采用火焰吸收分光光度法，As、Hg 采用原子荧光分析法[9]。总氮选用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ636-2012) [10]，氨氮、硝态氮、总磷等参照水和废水监测分析方法[11]。

1.1.3. 数据处理与分析

所得数据在 Excel 13.0 和 SPSS 23.0 软件上进行统计分析并作图。各处理组间进行单因素方差分析，差异显著则使用新复极差检验(SSR 检验，即 *Duncan* 氏法)对不同处理进行多重比较。

2. 结果与讨论

2.1. 水丝蚓对猪粪中重金属的富集作用及水质影响研究

图 1 为青浦区基地猪粪、水丝蚓粪和水丝蚓干中不同重金属的含量。从图中可以看出，猪粪中重金属铜和锌含量非常高，分别为 433.97 和 924.5 mg/kg，而 Cr、Pb、As、Cd 的平均含量则分别为 13.05 mg/kg，4.73 mg/kg，2.04 mg/kg 和 0.52 mg/kg，重金属 Hg 未检测到。

经过水丝蚓处理之后，铜锌的含量明显降低，特别在水丝蚓粪，水丝蚓干中，其中，铜在水丝蚓干的含量仅有猪粪含量的 2%左右，而锌在水丝蚓干的含量降低至猪粪含量的 14%左右。虽然铜、锌是作物生长的必须元素，但过量施用仍然会对作物造成危害，甚至使农产品中的含量超标，对人体健康造成危害。欧洲一些国家如比利时，荷兰和德国对有机废弃物中铜、锌有严格的限量，参照德国腐熟堆肥中部分重金属含量限量标准，锌、铜含量最高为 400 mg/kg 和 100 mg/kg [12]，而本试验中猪粪的铜、锌平均含量为 433.97 和 924.5 mg/kg，严重超标。经过水丝蚓处理后，铜、锌含量明显降低，说明采用水丝蚓处理猪粪对重金属铜锌有一定转移作用。章瑞等研究了菌菇渣与蚯蚓联合处理对猪粪中铜锌含量的影响，发现菌菇渣与蚯蚓联合处理可以显著降低猪粪中可交换态与可还原态 Cu 和 Zn 的含量，其中 Cu 的可交换态与可还原态之和比未经菌菇渣与蚯蚓联合处理下降 43.58%，可交换态与可还原态 Zn 含量之和下降 28.08%，差异显著($P < 0.05$) [13]。

对比不同水丝蚓处理后 Pb、Cr、As 的含量发现，Pb、Cr、As 在水丝蚓处理之后含量有所提高，说明水丝蚓对猪粪中 Pb、Cr、As 发生了一定的富集作用，如 Pb 在猪粪中的平均含量为 4.73 mg/kg，而经过水丝蚓处理之后，水丝蚓粪中含量提高了 3.8 倍，Cr 的含量在水丝蚓粪中提高 2.2 倍，As 的含量提高 7 倍左右。相比于我国肥料标准[12]，尽管水丝蚓对猪粪中的 Pb、Cr、As 发生了一定的富集作用，但其含量仍明显低于我国肥料标准，表明采用猪粪培养水丝蚓作为特种水生动物的开口饵料是可

行的。

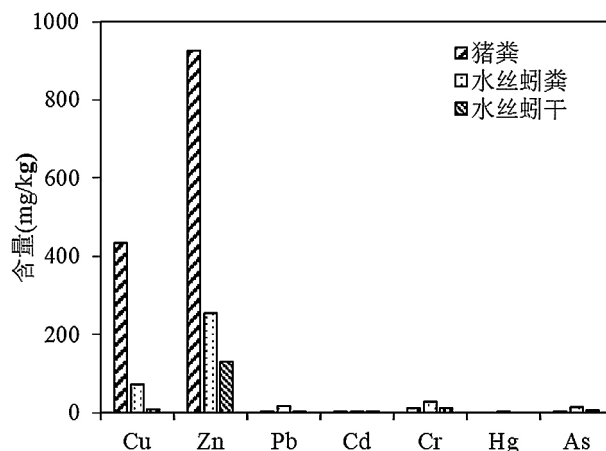


Figure 1. Comparison of heavy metal content in pig manure, *Limnodilus hoffineisteri* manure and dry *Limnodilus hoffineisteri*

图 1. 猪粪，水丝蚓粪和水丝蚓干中不同重金属含量对比

图 2 为水丝蚓处理后水体中重金属的含量。从图 2 可以看出，经过水丝蚓处理后，水体中 Cd、Cr、Hg 和 As 的平均含量非常低，低于 0.001 mg/L，Hg 和 As 未检测出，而铜、铅和锌的含量略高，大约在 0.02 mg/L，说明经水丝蚓处理后猪粪废水中的重金属显著降低，对水体污染的缓解有明显的好处。

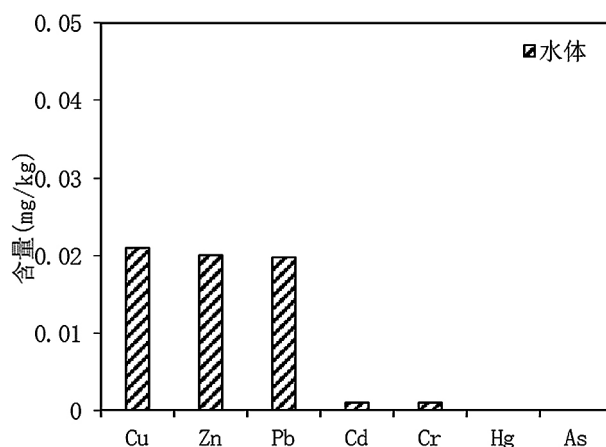


Figure 2. Heavy metal content in water body after *Limnodilus hoffineisteri* treatment on pig manure

图 2. 水丝蚓处理猪粪后水体中不同重金属的含量

2.2. 水丝蚓培育区及周边水体环境的水质变化

为了进一步研究猪粪培育水丝蚓后出水对周边稻田，种养结合稻田水质的影响，对稻田种植区，稻渔共作区以及水丝蚓养殖区的硝态氮和氨态氮进行监测，如图 3 和图 4 所示。相比于综合种养区和水稻区，水丝蚓在养殖区的硝态氮和氨态氮平均含量较高，分别为 4.61 mg/L 和 0.229 mg/L，而综合种养区和水稻区的硝态氮和氨态氮含量较低，这可能是因为硝态氮和氨态氮可以被植物直接利用，而氨态氮更容易吸附和固定在土壤胶体表面和胶体晶格中，比较容易被土壤保存。研究发现，当水体中硝

酸盐含量过高时,会造成水体富营养化,藻类大量繁殖,水生生物死亡,并且引起潜在性的致癌突变体,同时,由于硝态氮的反硝化作用,对大气也会产生一定的影响,如破坏臭氧层,加剧温室效应等[14]。从稻田和稻渔共作区硝态氮和氨态氮的含量可以看出,尽管水丝蚓养殖区硝态氮和氨态氮的含量较高,但当出水进入稻田或者综合种养区之后,硝态氮和氨态氮的含量明显降低,特别是稻田种植区硝态氮和氨态氮的含量降至 0.191 和 4.17 mg/L,这可能是由于水稻在生长过程中吸收了大量铵态氮和硝态氮的原因。

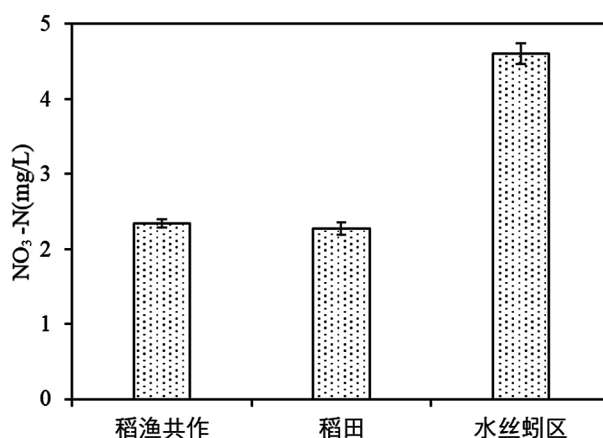


Figure 3. Nitrate nitrogen content in *Limnodilus hoffineisteri* cultivation, paddy growing and paddy-fishing area

图 3. 水丝蚓区、稻田及稻渔共作区硝态氮的含量

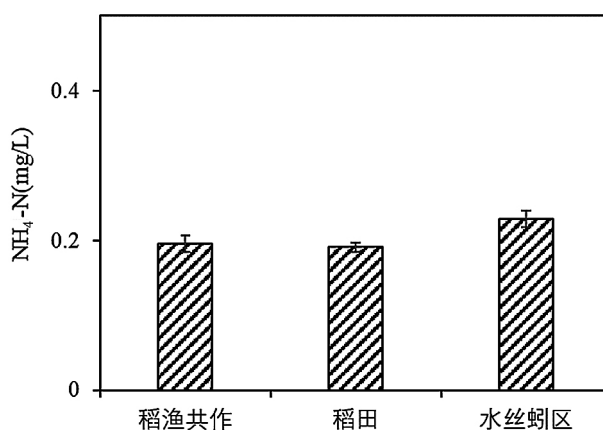


Figure 4. Ammonia content in *Limnodilus hoffineisteri* cultivation, paddy growing and paddy-fishing area

图 4. 水丝蚓区、稻田及稻渔共作区氨氮的含量

电导率是水质的一个重要指标,也是畜禽粪便的有一个重要物理指标。通常,水体中的电导率反映了水中含盐量的多少,水的纯度越高,电导率越低,含盐量越高,水的电阻率越大。在环境应用中测量水的电导率,可作为确定存在离子数量的简单方式。从水丝蚓区、稻田种养区及单独稻田区电导率的含量可以看出(见图 5),水丝蚓养殖区水体的电导率最高,为 572 us/cm,明显高于综合种养区和稻田区,其主要原因可能为猪粪存在的结果。

而从三个区域溶解氧含量的变化可以看出(见图 6),水体经过水丝蚓养殖区,到达稻田种植区及稻渔共作区,溶解氧的含量明显提高,特别是稻渔共作区,溶解氧含量最高,为 4.8 mg/L,其次是稻田种植

区(4.2 mg/L), 而水丝蚓区的溶解氧则很低, 为 2.5 mg/L 左右, 这可能由于水丝蚓可以进行厌氧生活。溶解氧可以维持水体生物的正常活动, 影响鱼虾投放量及鱼虾的发病率, 而低浓度的溶解氧可增加水体的毒性, 稻渔共作区因含有大量水生动物, 溶解氧相对较高。

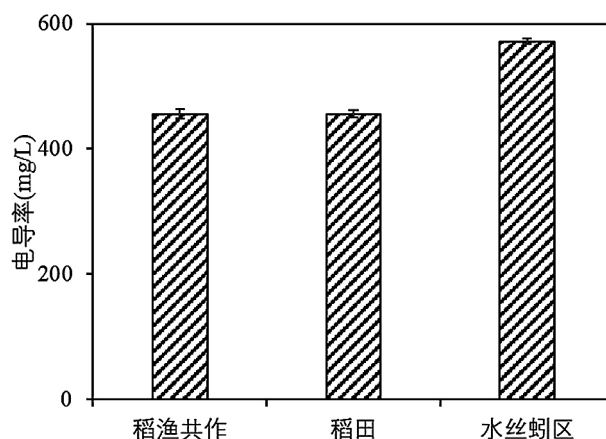


Figure 5. Conductivity content in *Limnodilus hoffineisteri* cultivation, paddy growing and paddy-fishing area

图 5. 水丝蚓区、稻田及稻渔共作区电导率的含量

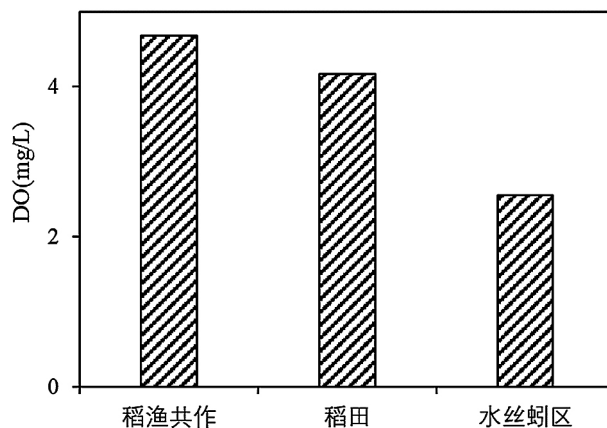


Figure 6. Dissolved oxygen content *Limnodilus hoffineisteri* cultivation, paddy growing and paddy-fishing area

图 6. 水丝蚓区、稻田及稻渔共作区溶解氧的含量

图 7 和图 8 为水丝蚓培育区、稻田区及稻渔共作区总氮和总磷的含量。稻田种植区水体的总氮含量最高, 其次为稻渔共作区, 平均含量为 6.6 mg/L, 而水丝蚓养殖区总氮的平均含量则较低。分析其原因可能为虽然水丝蚓培育区的出水会进入稻田, 然而, 由于水稻生长需要额外施肥, 总氮含量要明显高于水丝蚓养殖区, 而综合种养区则由于水生动物的存在, 主要以施有机肥为主, 减少了部分无机肥的使用, 含量略低。对比总磷的含量可以看出, 三种区域总磷的含量差距不大, 均为 0.4 mg/L 左右。

为了进一步加强对水丝蚓培育区出水水质对稻渔共作区的影响, 对常熟的水丝蚓培养区及稻渔共作区(主要为黄鳝, 不再额外施肥)总氮和总磷的含量同样进行测定(见表 1), 结果表明, 常熟基地水丝蚓区总氮, 总磷, 氨氮及硝态氮的含量非常高, 其中, 总氮的含量可达 39 mg/L, 然而, 经水丝蚓培育处理后出水进入稻渔共作区, 无论是总氮, 总磷, 氨氮还是氨态氮的含量均明显下降, 表明氮、磷营养盐经过稻渔共作结合区可以得到有效利用。同时该作用模式对于水体富营养化也有一定的减缓作用, 这与图 5

的结论一致。

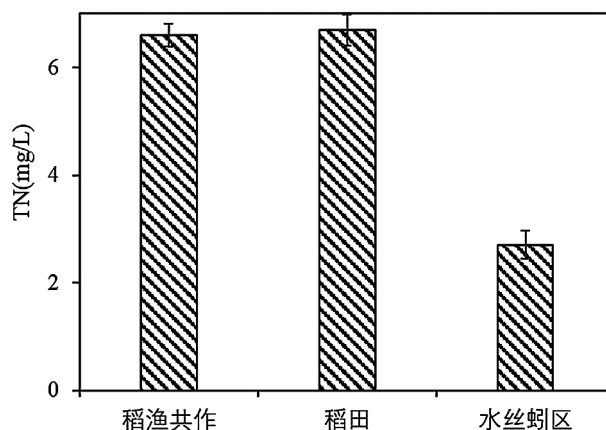


Figure 7. Total nitrogen content in *Limnodilus hoffineisteri* cultivation, paddy growing and paddy-fishing areas

图 7. 水丝蚓区、稻田及稻渔共作区总氮的含量

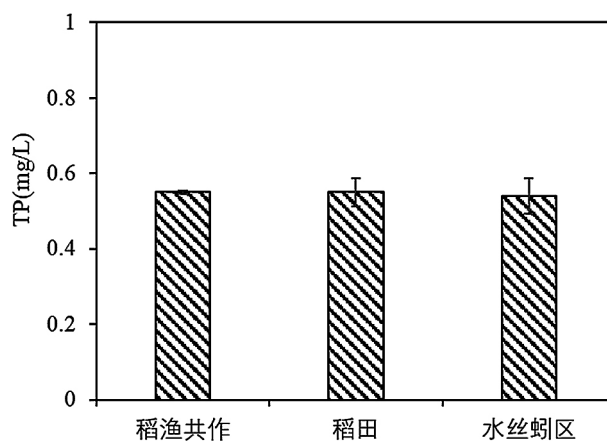


Figure 8. Total phosphorus content in *Limnodilus hoffineisteri* cultivation, paddy growing and paddy-fishing areas

图 8. 水丝蚓区、稻田及稻渔共作区总磷的含量

Table 1. Water quality of changshu base

表 1. 常熟基地水质

	TN	TP	PH	DO	NO ₃ -N	NH ₃ -N
种养结合区	1.66	0.44	7.2	1.29	17.9	0.123
水丝蚓区	38.91	1	7.37	1.1	20.1	15.5

3. 结论

采用猪粪培育水丝蚓，水丝蚓对猪粪中的 Pb、Cr、As 发生了一定的富集作用，但经水丝蚓处理后的铜锌含量却明显下降，且水丝蚓处理后的猪粪废水中的重金属显著降低，对周边水体污染缓解有明显的益处。

对水丝蚓培育区的出水、稻田种植区及稻渔共作区水质进行监测发现，稻田种植区及稻渔共作区可以有效利用水丝蚓培育区出水氨态氮和硝态氮，增加水体的溶解氧，特别是稻渔共作区，同时，氮磷营

养盐经过稻渔共作结合区含量也明显降低。该研究成果对于猪粪的无害化处理与资源化利用提供一定的参考,另外,采用猪粪培育的水丝蚓可以作为高蛋白的优质苗种开口饵料,相当程度地解决稻渔共作中养殖产量不稳定的难题,减少农药和化肥用量,具有良好的推广应用前景。

基金项目

上海市农委科技兴农重点攻关项目(2017-02-08-00-08-F00070)。

参考文献

- [1] 刘祎男, 范学铭, 阚晓微, 翟祖欢. 苯、苯酚、硝基苯对水丝蚓的急性毒性及超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2008, 32(3): 420-423.
- [2] 赵双菁, 李艳秋, 柳郁滨, 范学铭. Pb^{2+} 对水丝蚓的急性毒性及超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(8): 87-89.
- [3] 姜东生, 李梅, 崔益斌. 重金属和氯酚对霍甫水丝蚓的急性毒性及水环境安全评价[J]. 中国环境科学, 2014(6): 1572-1578.
- [4] 史则超, 陈孝煊, 王卫民, 姬伟. 不同投喂率对南方鲇稚鱼生长和存活率的影响[J]. 水生态学杂志, 2008, 28(5): 93-96.
- [5] 徐忠源, 王新荣, 骆小年, 等. 不同开口饵料对鸭绿沙塘鳢仔鱼生长性能的影响[J]. 水产学杂志, 2010, 23(1): 28-31.
- [6] 吴方同, 闫艳红, 孙士权, 谭万春. 水丝蚓生物扰动对沉积物磷释放的影响[J]. 环境工程学报, 2011, 5(5): 1071-1076.
- [7] 孙刚, 房岩, 毕雨涵. 水丝蚓对稻田土壤微生物的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(22): 53-56.
- [8] 周泉勇, 方绍培, 王少颖, 朱伟, 杨群. 猪粪污养殖水蚯蚓试验分析[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2019(4): 24-25.
- [9] 龚全, 刘亚, 赖见生, 赵刚, 杜军, 李丽鹃. 不同开口饵料对达氏鲟鱼苗生长的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2297-2300.
- [10] 环境保护部. HJ636-2012 水质总氮的测定碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [11] 国家环境保护总局, 水和废水监测分析方法编委会, 编. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [12] 金杰, 孙世群, Michael Nelles, 蔡敬民, 俞志敏, 吴克. 中德生物垃圾堆肥相关标准之比较[J]. 合肥学院学报(自然科学版), 2006, 16(1): 28-33.
- [13] 章瑞, 章红兵, 叶利民. 菌菇渣与蚯蚓联合处理对猪粪中铜锌含量的影响[J]. 今日畜牧兽医, 2018(12): 12-13.
- [14] 胡海燕. 水产养殖废水氨氮处理研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.