

徐磊,孙博悻,盛鹏程,等. 湖州地区典型水产养殖池塘中抗菌药物的污染特征[J]. 江苏农业科学,2019,47(11):210-214.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.11.047

湖州地区典型水产养殖池塘中抗菌药物的污染特征

徐磊,孙博悻,盛鹏程,施沁璇,罗毅志

(农业部淡水渔业健康养殖重点实验室/浙江省鱼类健康与营养重点实验室/浙江省淡水水产研究所,浙江湖州 313001)

摘要:在水产养殖业中,抗菌药物作为防治细菌性疾病的药物和生长促进剂被大量的应用,不可避免地造成了抗菌药物在水环境中的残留,引发一系列环境问题。利用固相萃取和超高效液相串联质谱技术调查 6 种磺胺类、4 种四环素类和 6 种喹诺酮类抗菌药物在湖州地区典型水产养殖池塘中的含量水平,揭示其在湖州地区典型水产养殖环境中的污染现状与分布特征。在养殖水、底泥中分别检测到 9、13 种抗菌药物,平均浓度在 0.1 ~ 428.8、10.0 ~ 3 681.6 ng/kg 之间,其中养殖水中以磺胺类为主,底泥中以四环素类和喹诺酮类为主。抗菌药物在底泥和水中的分布可采用底泥-水分配系数(K_d)来解释分析。在不同养殖模式下,抗菌药物的污染程度存在巨大差异。

关键词:抗菌药物;水;底泥;水产养殖区;湖州地区;分配系数;污染特征

中图分类号:X171.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)11-0210-05

随着我国水产养殖业的快速发展,抗菌药物在促生长、预防和治疗感染性疾病方面被广泛使用,为动物的快速、健康生长作出了重要贡献^[1]。然而,抗菌药物在水产养殖中的大量使用,不可避免地造成了抗菌药物在水环境中的残留,研究表明养殖塘中有 70% ~ 80% 的抗菌药物最终进入环境^[2]。梁惜梅等在珠江口水产养殖区的水和沉积物中分别检测出 2 类 3 种(诺氟沙星、氧氟沙星和四环素)和 3 类 5 种(诺氟沙星、氧氟沙星、恩诺沙星、四环素和脱水红霉素)抗菌药物残留,平均质量浓度分别在 7.63 ~ 59.00、0.97 ~ 85.25 ng/g 之间^[3]。大量的抗菌药物进入到水环境中可能会引发多种危害,其中一个危害就是诱导细菌产生对抗菌药物的抗性基因。杨颖发现,含有四环素类和磺胺类抗性基因的细菌在珠江流域的北江水体中普遍存在,抗性基因在环境中的存在与传播

将可能导致人类本体携带上抗性基因,并最终危害人类健康^[4]。

湖州地区是全国著名的淡水渔业基地,各类养殖水域达到 426.67 km²。近年,年生产各类水产品 15 万 t,产值约 20 亿元。然而,对于湖州地区养殖水域中抗菌药物污染的研究较为鲜见,缺乏足够的研究基础。本研究将以湖州 3 县 2 区 9 个养殖品种、18 个养殖塘为研究对象,调查了 6 种磺胺类、4 种四环素类和 6 种喹诺酮类在养殖水和底泥中的含量水平,分析其中抗菌药物的组成及分布特征,以了解湖州地区养殖塘中抗菌药物的残留状况,以期为我国水产养殖区中抗菌药物使用和残留的环境风险评价提供更多的科学依据。

1 材料与方法

1.1 主要仪器和材料

超高效液相色谱串联质谱仪(TQ MS/I-CLASS 系列美国 Waters 公司),旋转蒸发仪(瑞士 BUCHI 公司),氮吹仪(美国 Orgnomation 公司),冷冻干燥机(美国 Labconco 公司),固相萃取装置(美国 SUPELCO 公司)。

磺胺嘧啶(SD)、磺胺甲基嘧啶(SMR)、磺胺二甲基嘧啶(SM2)、磺胺多辛(SDX)、磺胺异噁唑(SFZ)、磺胺甲异噁

收稿日期:2018-02-06

基金项目:浙江省湖州市科技计划(编号:2015GY02)。

作者简介:徐磊(1988—),男,浙江江山人,硕士,工程师,研究方向为水产品质量安全。E-mail:Lei_1130@126.com。

通信作者:罗毅志,副研究员,研究方向为鱼类病害防治。E-mail:13587242279@139.com。

[20] Gibbens J C, Sharpe C E, Wilesmith J W, et al. Descriptive epidemiology of the 2001 foot-and-mouth disease epidemic in Great Britain: the first five months[J]. Veterinary Record, 2001, 149(24): 729-743.

[21] Barate A K, Cho Y, Truong Q L, et al. Immunogenicity of IMS 1113 plus soluble subunit and chimeric proteins containing *Mycoplasma hyopneumoniae* P97 C-terminal repeat regions[J]. FEMS Microbiology Letters, 2014, 352(2): 213-220.

[22] 陈超,李媛,郭丹,等. 猪肺炎支原体 p97 C 末端基因重组腺病毒的构建及其免疫效果[J]. 微生物学报, 2009, 49(4): 465-470.

[23] 韦艳娜,熊祺琰,董璐,等. 猪肺炎支原体 P97R1 抗原免疫刺激复合物的制备及对活疫苗免疫刺激能力的增强作用研究

[J]. 中国预防兽医学报, 2013, 35(12): 1016-1019.

[24] Batah J, Denève-Larrazet C, Jolivet P A, et al. *Clostridium difficile* flagella predominantly activate TLR5-linked NF- κ B pathway in epithelial cells[J]. Anaerobe, 2016, 38: 116-124.

[25] Tahoun A, Jensen K, Corripio-Miyar Y, et al. Functional analysis of bovine TLR₅ and association with IgA responses of cattle following systemic immunisation with H₇ flagella[J]. Veterinary Research, 2015, 46: 9.

[26] Stratmann T. Cholera toxin subunit B as adjuvant-an accelerator in protective immunity and a break in autoimmunity[J]. Vaccines, 2015, 3(3): 579-596.

[27] 孙小涵. 非致病性大肠杆菌鞭毛蛋白增强 FMDV 免疫原性的研究[D]. 长春:吉林农业大学, 2017.

唑(SMZ)、土霉素(OTC)、金霉素(CTC)、四环素(TC)、强力霉素(DXC)、诺氟沙星(NOR)、环丙沙星(CIP)、培氟沙星(PEF)、恩诺沙星(ENR)、氧氟沙星(OFLX)、司帕沙星(SPA),内标物:氘代磺胺多辛-D3(SDX-D3)、氘代诺氟沙星(NOR-D5)、氘代恩诺沙星(ENR-D5),均来自德国 Dr. Ehrensorfer 公司。

Oasis HLB 固相萃取小柱(225 mg, Oasis HLB Plus Short cartridges, 美国 Waters 公司), SAX 阴离子交换小柱(360 mg, Sep-Pak Accell Plus QMA Plus Short Cartridge, 美国 Waters 公司)。

1.2 样品采集

选定湖州 3 县 2 区共计 14 个点(图 1), 共计 18 个养殖塘, 包含外塘甲鱼、温室甲鱼、黑鱼、加州鲈、青鱼、泥鳅、黄颡鱼、中华绒螯蟹、青虾 9 个品种, 每个品种各 2 个养殖塘, 其中黑鱼和加州鲈分别选择 2 种养殖模式, 分别投喂的是饲料和冰鲜(鸡、鸭内脏)。于 2016 年 4、8、11 月 3 个季度采集 18 个养殖塘中的养殖水与底泥样本, 水源水与水源底泥样本。每个采样点均在养殖塘的四角及中央各采集水样 2 L, 将 10 L 水混匀后, 取 1 L 装于样品瓶中, 加 200 μ L 盐酸调节 pH 值至 3.0 左右; 同样地点采集底泥样品, 混匀后取约 200 g 装入样品袋中。所有样品采集至实验室后置于 4 $^{\circ}$ C 冰箱中存放。



图1 湖州地区水产养殖塘采样分布

1.3 样品处理

水样采集后 24 h 内经 0.45 μ m 滤膜滤过。取 500 mL 已过滤水(温室甲鱼的养殖水取 100 mL), 加入内标混合标准溶液, 充分混匀, 利用 225 mg/Oasis HLB Plus Short cartridges 小柱(小柱上方接 50 mL 注射针筒)进行固相萃取富集。上样前, HLB 柱依次用 5 mL 甲醇和 5 mL 超纯水进行活化平衡; 上样时, 流速控制在 5 ~ 8 mL/min; 上样后, 用 10 mL 超纯水淋洗 HLB 柱, 负压抽干后置于冷冻干燥机中干燥 10 min; 最后用 6 mL 甲醇经行洗脱, 收集洗脱液并在 40 $^{\circ}$ C 下采用氮气吹干, 用流动相(15% 乙腈、7% 甲醇、78% 水)定容至 1.0 mL。

底泥样品经冷冻干燥 24 h 后, 研磨后过 60 目筛。准确称取 2.00 g 底泥置于 50 mL 离心管中, 加入内标混合标准溶液, 涡旋混匀 1 min, 静置 1 h 后依次加入 0.4 g Na_2EDTA 、5.0 mL 乙腈、5.0 mL 磷酸缓冲液(0.05 mol/L, pH 值为 3)。涡旋混匀 1 min, 摇床振荡 20 min, 超声波提取 10 min, 离心后收集上清液, 残留物重复提取 2 次后, 合并 3 次上清液, 加入超纯水, 稀释至约 400 mL, 混匀后过 SAX-HLB 串联小柱, 上样前, SAX-HLB 串联柱依次用 5 mL 甲醇、5 mL 超纯水和 5 mL 磷酸缓冲液活化平衡; 上样时, 将稀释水样流速控制在

5 ~ 8 mL/min; 上样后, 将上层 SAX 柱取下后用 10 mL 超纯水淋洗 HLB 柱, 负压抽干后置于冷冻干燥机中干燥 10 min; 最后用 6 mL 甲醇经行洗脱, 收集洗脱液并在 40 $^{\circ}$ C 下用氮气吹干, 用流动相定容至 1.0 mL。

1.4 方法回收率和质量控制

喹诺酮类和磺胺类采用内标法经行定量分析, 四环素类采用外标法经行定量分析。以养殖水和底泥为基质进行加标试验, 500 mL 水和 2.00 g 底泥分别加入 25 ng 和 10 ng 混合标准品, 以信噪比(S/N) ≥ 3 作为方法的最低检出限。养殖水中抗菌药物的回收率为 59.45% ~ 109.20%, 底泥中抗菌药物的回收率为 63.13% ~ 118.50%, 养殖水中抗菌药物的检出限为 2.5 ~ 10.0 ng/L, 底泥中抗菌药物的检出限为 0.25 ~ 1.00 ng/g(表 1)。

2 结果与分析

2.1 抗菌药物的存在与含量

由表 2 可知, 16 种抗菌药物在湖州地区典型水产养殖池塘中的含量水平。在 16 个养殖池塘(由于温室甲鱼的特殊养殖模式, 在采集过程中并未采集到底泥, 因此并未计入统计

表 1 抗菌药物的加标回收率和检出限

名称	养殖水(<i>n</i> = 5)		底泥(<i>n</i> = 5)		养殖水检出限 (ng/L)	底泥检出限 (ng/g)
	回收率(%)	<i>RSD</i> (%)	回收率(%)	<i>RSD</i> (%)		
磺胺嘧啶	81.82	4.94	63.13	3.57	0.72	0.24
磺胺甲基嘧啶	76.48	6.32	79.67	15.9	1.15	0.39
磺胺二甲基嘧啶	82.88	3.01	69.33	4.23	1.52	0.48
磺胺多辛	98.68	1.25	65.87	1.28	0.90	0.31
磺胺异噁唑	104.3	2.33	78.86	5.64	2.31	0.56
磺胺甲基异噁唑	68.28	2.91	75.73	3.04	1.77	0.41
诺氟沙星	90.78	10.1	91.39	4.50	1.58	0.24
环丙沙星	91.60	4.12	80.11	2.00	1.25	0.33
培氟沙星	85.05	5.70	82.68	4.71	1.47	0.43
恩诺沙星	97.80	2.51	79.08	4.63	0.73	0.28
氧氟沙星	67.25	7.29	81.27	6.81	1.05	0.20
司帕沙星	109.20	14.20	118.50	10.90	0.87	0.17
土霉素	78.66	8.25	83.02	10.0	2.26	0.52
金霉素	59.45	7.12	63.28	8.81	3.11	0.71
四环素	77.80	6.85	81.51	9.24	1.94	0.33
强力霉素	73.31	4.10	76.55	4.56	3.42	0.62

中)3 个季度的采样检测中,在养殖水和池塘底泥中共检测到 15 种抗菌药物,其中养殖水中磺胺嘧啶、磺胺二甲基嘧啶、氧氟沙星、恩诺沙星和磺胺甲基异噁唑的检出率较高。底泥中四环素、金霉素、强力霉素、土霉素、恩诺沙星、氧氟沙星和培氟沙星的检出率较高。表明在湖州地区的水产养殖池塘中残留了多种类型的抗菌药物。

养殖水中有 5 种抗菌药物的检出率在 9.1% 以上,其中氧氟沙星平均浓度为 0.9 ng/L,磺胺甲基异噁唑平均浓度为 1.6 ng/L,恩诺沙星平均浓度为 10.4 ng/L,相比之下,磺胺嘧啶和磺胺二甲基嘧啶无论是检出率(29.5%、20.5%)还是平均浓度(428.8、23.0 ng/L)均要高出其他抗菌药物不少,尤其是磺胺嘧啶。池塘底泥中四环素类和 3 种喹诺酮类抗菌药物均有较高的检出率(≥ 13.6%)和平均浓度(126.0 ~ 3 681.6 ng/kg)。由此得出,磺胺类的水溶性强,而四环素类

和喹诺酮类在底泥沉积物中有较强的吸附性,这与其他文献中的研究结果^[5-6]一致。

由表 2 的中位值所示,湖州地区典型水产养殖池塘中,养殖水中的抗菌药物浓度为 0.0 ~ 190.0 ng/L,底泥中的抗菌药物浓度为 0.00 ~ 17.51 μg/kg。

2.2 抗菌药物的分布

抗菌药物在水与底泥之间的分布与其自身极性、憎水性和空间结构等有关。通常污染物在底泥中的吸附能力可通过常用的土壤水分配系数 K_d 来表示, $K_d = C_s/C_w$, K_d 值越大,表示吸附作用越强,其中 C_s 、 C_w 分别为吸附平衡时固相和液相中污染物的浓度,在本研究中单位分别为 ng/kg、ng/L。

由表 2 可知,在一个中华绒螯蟹的养殖水中,测得夏季池塘中磺胺嘧啶的浓度达到了 11 907.5 ng/L,不仅远高于平均浓度,而且也远高于其春季(未检出)与秋季(428.6 ng/L)的

表 2 湖州地区典型水产养殖池塘中抗菌药物含量水平

名称	养殖水				底泥			
	检出率 (%)	浓度范围 (ng/L)	平均值 (ng/L)	中位值 (ng/L)	检出率 (%)	浓度范围 (ng/kg)	平均值 (ng/kg)	中位值 (ng/kg)
磺胺嘧啶	29.5	0.0 ~ 11 907.5	428.8	49.4	6.8	0.0 ~ 2 850	128.0	1 460.0
磺胺甲基嘧啶	2.3	0.0 ~ 190.0	4.3	190.0	0.0	0.0	0.0	0.0
磺胺二甲基嘧啶	20.5	0.0 ~ 469.6	23.0	4.6	6.8	0.0 ~ 2 100	72.2	800.0
磺胺多辛	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
磺胺异噁唑	2.3	0.0 ~ 25.7	0.6	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0
磺胺甲基异噁唑	9.1	0.0 ~ 30.2	1.2	10.8	2.3	0.0 ~ 560	12.7	560.0
诺氟沙星	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0 ~ 21 140	795.9	17 510.0
环丙沙星	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0 ~ 5 870	272.0	3 550.0
培氟沙星	2.3	0.0 ~ 8.2	0.2	8.2	13.6	0.0 ~ 32 450	1 198.9	4 202.5
恩诺沙星	11.4	0.0 ~ 311.1	10.4	28.0	15.9	0.0 ~ 52 910	3 281.6	7 450.0
氧氟沙星	13.6	0.0 ~ 13.0	0.9	5.6	13.6	0.0 ~ 3 250	126.0	485.0
司帕沙星	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0 ~ 440	10.0	440.0
土霉素	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	0.0 ~ 18 100	769.3	3 815.0
金霉素	2.3	0.0 ~ 5.6	0.1	5.6	18.2	0.0 ~ 4 170	316.3	987.5
四环素	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0.0 ~ 1 530	162.3	750.0
强力霉素	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0.0 ~ 6 690	389.8	1 135.0

浓度,即便是与其他养殖水域比较也是大大高出其浓度^[3]。若不考虑这一极端值,将养殖水中含有磺胺嘧啶的养殖池塘作为一组研究对象,计算养殖水中磺胺嘧啶平均值为 535.5 ng/L,同理,将底泥中含有磺胺嘧啶的养殖池塘作为另一组研究对象,计算底泥中磺胺嘧啶平均值为 1 877.0 ng/kg。用这 2 个平均值来计算磺胺嘧啶的 K_d 值为 3.51 L/kg。该 K_d 值与传统意义上的明确固相和液相而得到 K_d 值并不相同,其代表着湖州地区受磺胺嘧啶污染的养殖池塘中磺胺嘧啶的底泥水分分配系数。该 K_d 值与郭欣妍拟合得到的磺胺嘧啶在 5 种土壤中吸附的 K_d 值为 0.41 ~ 2.02 L/kg^[7] 相近。同样的方法计算得到磺胺二甲基嘧啶、培氟沙星、恩诺沙星等其他 8 种高检出率抗菌药物的 K_d 值,其中养殖水中未检出的抗菌药物,其平均值取最低检出限,并与其他文献中试验得到的 K_d 值进行比较,结果见表 3。

本研究中 3 个季度共采集水样 44 个,四环素类抗菌药物中仅测到过 1 次金霉素,浓度为 5.6 ng/L,这是由于四环素类具有较高的 K_d 值,与底泥表现出较好的亲和力,易通过阳离子键桥、表面配位螯合以及氢键等作用机制吸附在底泥中^[8-12];另外,王丽平等研究发现,自然光对土壤中的抗菌药

物降解影响要远大于微生物对抗菌药物降解的影响,其中对四环素类抗菌药物降解的影响最为显著^[10]。相比于底泥中的四环素类抗菌药物,养殖水中的四环素类抗菌药物更容易受到自然光的影响,因而降解得较为彻底。由于养殖水中的四环素类抗菌药物过低的检出率使得其计算得到的 K_d 值准确性有所降低,但整体而言,通过抗菌药物在养殖水和底泥中的平均值计算得到的 K_d 值与文献中得到的 K_d 依然较为相近,尤其是当数据较为充足时,如磺胺类抗菌药物和喹诺酮类抗菌药物。

由表 3 可知,四环素类和喹诺酮类抗菌药物的 K_d 值要远大于磺胺类抗菌药物的 K_d 值,这是由抗菌药物本身的性质所决定的。崔皓等研究发现,四环素类和喹诺酮类抗菌药物的吸附机理主要为阳离子交换吸附,由于四环素类和喹诺酮类抗菌药物的分子中含有较多的极性/离子型官能团,因此在底泥中有较强的吸附性^[13]。而磺胺类抗菌药物只含有苯胺基和酰胺基 2 个离子型官能团,吸附能力很弱。此外,陈昇等研究发现,磺胺类抗菌药物在土壤中的吸附以物理吸附为主,由于物理吸附的作用力主要是分子间的范德华力,吸附能小,被吸附的物质很容易脱离^[14]。

表 3 养殖池塘中抗菌药物的吸附系数

名称	养殖水抗菌药物浓度 均值 (ng/L)	底泥抗菌药物浓度 均值 (ng/kg)	K_d (L/kg)	
			本研究	文献
磺胺嘧啶	535.5	1 877.0	3.51	0.41 ~ 2.02 ^[7]
磺胺二甲基嘧啶	112.1	1 058.9	9.45	0.6 ~ 31.0 ^[8]
培氟沙星	8.2	8 791.9	1 072.2	496.6 ~ 6 137.6 ^[9]
恩诺沙星	36.6	20 627.2	563.6	260.0 ~ 6 310 ^[8]
氧氟沙星	6.6	924.0	140.0	285.0 ^[10]
土霉素	0.0	5 641.5	≥2 820.8	420.0 ~ 1 030 ^[8]
金霉素	5.6	1 739.1	310.6	779.8 ~ 1 396.4 ^[11]
四环素	0.0	892.7	≥446.4	400.0 ~ 16 250 ^[8]
强力霉素	0.0	2 143.9	≥714.6	n. f.

注:“n. d.”表示未检出数值;“n. f.”表示未找到相应数值。

过低的 K_d 值,表明了磺胺类抗菌药物的水溶性大以及在底泥中的吸附性差,这也说明了磺胺类抗菌药物的迁移性强,对于其他地表水或地下水具有潜在的威胁。相反,四环素类和喹诺酮类抗菌药物在底泥中具有很强的滞留性,大大延长了四环素类和喹诺酮类抗菌药物在环境中的停留时间,这也使得如果发生四环素类和喹诺酮类抗菌药物的污染,那么底泥会是这 2 类抗菌药物污染最严重的地方。

2.3 不同养殖模式的抗菌药物含量

不同于富集在底泥中的抗菌药物迁移性较差,水体中的抗菌药物往往有很强的转移能力,因此更容易对人们造成影响。本研究选取 2 个外塘甲鱼池塘和 2 个温室甲鱼池塘、2 个黑鱼池塘(分别投放饲料和冰鲜)、2 个鲈鱼池塘(分别投放饲料和冰鲜)的养殖水作为研究对象。养殖水中三大类抗菌药物的含量见图 2。

由图 2 可知,在温室甲鱼池塘中抗菌药物的组成以四环素类和喹诺酮类为主,而在其他外塘中则主要是磺胺类。这是由于在外塘中,磺胺类抗菌药物水溶性强,容易被检测到,而四环素类和喹诺酮类抗菌药物更容易富集于底泥中。相比

之下,温室甲鱼池塘一般由水泥直接浇筑而成,并没有底泥等沉积物,水中的四环素类和喹诺酮类抗菌药物缺少了一条重要的转移途径,因此大量存在于池塘养殖水中。

除抗菌药物的组成不同,温室甲鱼池塘中的抗菌药物含量也远高于其他外塘养殖池塘,一方面由于底泥是抗菌药物的重要富集区域,由“3.1”小结中看到湖州地区养殖池塘底泥中抗菌药物的含量为“μg/kg”数量级,而养殖水中抗菌药物含量为“ng/L”数量级,可见在缺少底泥的温室甲鱼池塘,大量的抗菌药物无法被底泥吸附而游离在水环境中。另外,由于温室甲鱼因养殖密度过高,容易患“腐皮”等病害,在养殖过程中往往会持续用药,造成养殖水中抗菌药物浓度过高。其次,由于自然光降解是抗菌药物在环境中消除的重要途径之一,有研究表明,恩诺沙星在光照、避光条件下的降解半衰期分别为 2.23、286.00 d^[17]。温室甲鱼池塘常年处于无日照状态,因此也造成了喹诺酮类在温室池塘中的含量要远远高于其在外塘的含量。最后,由于温室甲鱼池塘为了保持甲鱼的生长环境,一般将水温保持在 20 ~ 30 ℃,过高的水温会导致每一次换水都会有大量能量损失,因此养殖户都会

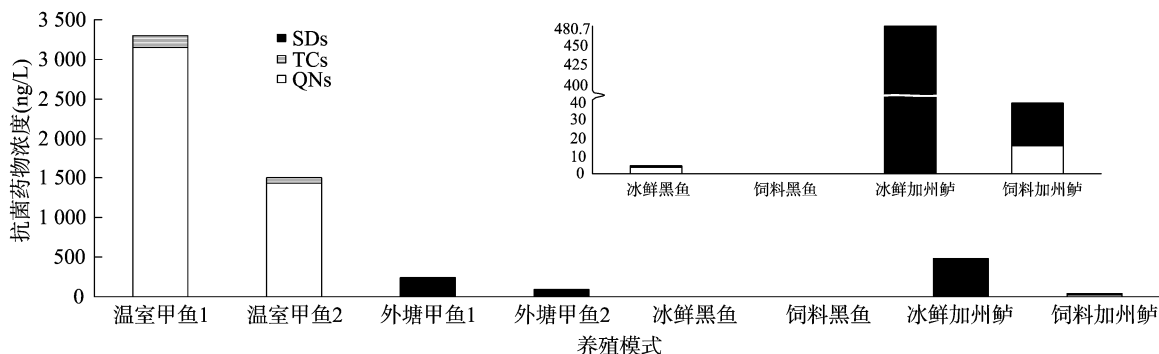


图2 不同养殖模式下养殖池塘中抗菌药物的分布特征

选择尽可能地减少换水次数,这也是温室甲鱼池塘中抗菌药物维持在高浓度的一个原因。

作为外塘养殖,加州鲈池塘和黑鱼池塘中的抗菌药物主要是磺胺类,由图2还可得出,不论投喂饲料还是冰鲜,加州鲈池塘中抗菌药物含量要远高于黑鱼池塘,这可能由于黑鱼的养殖技术成熟,不易致病,而加州鲈本身对环境要求较高,生长过程中容易得病,或许导致了抗菌药物的大量投入。此外,检测投喂冰鲜的池塘比投喂饲料的池塘得到更多抗菌药物,这可能是由饲料的生产工艺相对稳定、冰鲜来源不稳定造成的,本研究抽取了2批次冰鲜进行检测,2份黑鱼池塘投喂的冰鲜中均未检测到抗菌药物,在2份加州鲈池塘投喂的冰鲜中,其中1份冰鲜中检测到金霉素和四环素的浓度分别是1.23、0.33 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。可见,养殖户无法保证每次购买的冰鲜都不含抗菌药物,毕竟我国在鸡、鸭等养殖过程中均会使用抗菌药物。据报道,在2013年我国养鸡业使用抗菌药物量达1.812万t,占全国抗菌药物总使用量的11.18%^[18]。

虽然本研究中投喂冰鲜的池塘中抗菌药物含量较高,但由于研究基数较小,而引起养殖池塘中抗菌药物含量增加的因素很多,如养殖户不科学用药、引进水源所带入的抗菌药物或是由于上一轮养殖而残留在底泥中的抗菌药物又复溶到养殖水中等。因此,想要了解投喂冰鲜的养殖池塘中抗菌药物的污染情况,还须做进一步调查。

3 结论

在湖州3县2区18个养殖塘中共检测到15种抗菌药物,其中养殖水中磺胺类抗菌药物检出率较高,底泥中四环素类和喹诺酮类抗菌药物检出率较高。养殖水中抗菌药物含量为“ng/L”数量级,底泥中的抗菌药物含量为“ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ”数量级。

磺胺类抗菌药物在养殖水中不仅有较高的检出率,还有很高的浓度,在环境中主要以溶解态存在,表现出很强的亲水性,而四环素类和喹诺酮类抗菌药物则主要富集在底泥中,这种现象可由抗菌药物的底泥水分配系数 K_d 表述明确。

不同养殖模式的养殖塘中抗菌药物含量差异很大。温室甲鱼塘中的抗菌药物含量要远高于其他养殖塘,本研究中加州鲈养殖塘中抗菌药物含量高于黑鱼养殖塘,投喂饲料的养殖塘中抗菌药物含量要高于投喂冰鲜的养殖塘。

参考文献:

- [1] 李子杰. 抗生素在水产养殖中应用的利弊及对策[J]. 贵州畜牧兽医, 2008, 32(2): 23-24.
- [2] Johnson A C, Belfroid A, Corcia A D. Estimating steroid oestrogen inputs into activated sludge treatment works and observations on their removal from the effluent[J]. Science of the Total Environment, 2000, 256(2/3): 163-173.
- [3] 梁惜梅, 施震, 黄小平. 珠江口典型水产养殖区抗生素的污染特征[J]. 生态环境学报, 2013(2): 304-310.
- [4] 杨颖. 北江水环境中抗生素抗性基因污染分析[D]. 广州: 中山大学, 2010.
- [5] 徐维海, 张干, 邹世春, 等. 模拟水流环境中抗生素的行为特征与归宿[J]. 环境科学研究, 2009, 22(10): 1213-1217.
- [6] Drillia P, Stamatiadou K, Lyberatos G. Fate and mobility of pharmaceuticals in solid matrices[J]. Chemosphere, 2005, 60(8): 1034-1044.
- [7] 郭欣妍, 王娜, 许静, 等. 5种磺胺类抗生素在土壤中的吸附和淋溶特性[J]. 环境科学学报, 2013, 33(11): 3083-3091.
- [8] 王丽平, 章明奎. 土壤性质对抗生素吸附的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(2): 420-423.
- [9] 张劲强, 董元华. 诺氟沙星的土壤吸附热力学与动力学研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 978-986.
- [10] 伊丽丽, 焦文涛, 陈卫平. 不同抗生素在剖面土壤中的吸附特征[J]. 环境化学, 2013, 12(12): 2357-2363.
- [11] 刘芳, 刘惠军, 杨守军, 等. 金霉素在不同耕作棕壤中的吸附与解吸研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(26): 16053-16055, 16065.
- [12] Tolls J. Sorption of veterinary pharmaceuticals in soil[J]. Environmental Science & Technology, 2000, 35(17): 3397.
- [13] 崔皓, 王淑平. 环丙沙星在潮土中的吸附特性[J]. 环境科学, 2012, 33(8): 2895-2900.
- [14] 陈界, 张劲强, 钟明, 等. 磺胺类药物在太湖地区典型水稻土上的吸附特征[J]. 中国环境科学, 2008, 28(4): 309-312.
- [15] 吴银宝, 汪植三, 廖新俊, 等. 恩诺沙星在鸡体内的排泄及其在鸡粪中的降解[J]. 畜牧兽医学报, 2005, 36(10): 1069-1074.
- [16] 吴维雄, 李亚菲, 张展, 等. 鸡肉中抗生素残留现状分析及建议[J]. 广东饲料, 2016, 25(10): 17-18.