

巢湖喹诺酮及四环素类药物污染现状及来源分析

唐俊¹, 陈海燕¹, 史陶中¹, 李学德¹, 花日茂^{1*}, 陈燕²

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 2. 合肥市环境监测中心站, 合肥 230030)

摘要: 采用固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱联用技术 (SPE-UPLC-MS/MS), 对巢湖湖水中喹诺酮和四环素类抗生素的污染现状进行测定, 同时分析南淝河等主要入湖河流及城市污水厂进出水中抗生素的残留水平。结果表明, 湖区 14 个监测点湖水中喹诺酮和四环素类抗生素均不同程度检出, 10 种抗生素平均浓度为 1.3~42.3 ng·L⁻¹; 巢湖西半湖湖心水中抗生素检出率和残留浓度明显高于东半湖湖心处; 巢湖北岸 4 个乡镇居民生活等活动对湖水中抗生素含量有一定影响, 其中黄麓镇近岸湖水中诺氟沙星浓度最大 (8.1 ng·L⁻¹); 入湖河流均有抗生素检出, 其中南淝河水中抗生素浓度最高, 达到 550.7 ng·L⁻¹; 合肥市主要污水处理厂进出水中均含有大量抗生素, 氧氟沙星和土霉素为主要污染物。可见, 巢湖湖水受到抗生素污染, 入湖河流、沿岸居民生活排水及城市污水处理厂尾水排放是巢湖抗生素的主要来源, 需加强对抗生素使用的管理和污染防治。

关键词: 抗生素; 巢湖; 河流; 生活污水; 超高效液相色谱-串联质谱

中图分类号: X524

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)06-1043-06

Occurrence of quinolones and tetracyclines antibiotics in the aquatic environment of Chaohu Lake

TANG Jun¹, CHEN Hai-yan¹, SHI Tao-zhong¹, LI Xue-de¹, HUA Ri-mao¹, CHEN Yan²

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Hefei Environmental Monitoring Center, Hefei 230030)

Abstract: A solid phase extraction-ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (SPE-UPLC-MS/MS) method was used to monitor the antibiotics residue in water samples from difference areas of Chaohu Lake, and the rivers flowing into it and wastewater in sewage treatment plants in Hefei city. The results indicated that quinolones and tetracyclines antibiotics were widely detected in fourteen sampling sites with average concentrations in the range of 1.3-42.3 ng·L⁻¹. The occurrences of antibiotics in west-half Chouhu Lake were more serious than in its east-half. The antibiotics in water from four township nearby north of Chaohu Lake had a high detection frequency, and the concentration of norfloxacin in Huanglu (8.1 ng·L⁻¹) showed a significant impact of human's activities to the antibiotics' existence. Antibiotics in rivers flowing into Chaohu Lake were also widely detected, and the water from Nanfeihe River contained 550.7 ng·L⁻¹ antibiotics and would be the worst polluted river. Wastewater from sewage treatment plants contained a large amount of antibiotics and ofloxacin, and oxytetracycline was proved to be the principal pollutants. It was clarified that an obvious of antibiotics was consisted of rivers, drainage from nearby countryside and the sewage treatment plants. So, strengthening the monitoring and management of antibiotics in Chaohu Lake is necessary.

Key words: antibiotics; Chaohu Lake; rivers; sewage; ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS)

喹诺酮类和四环素类药物在规模化养殖及人类疾病控制方面应用广泛^[1], 人和动物服用的抗生素

大部分以原药或代谢物的形式被排泄至体外^[2], 其在水环境中的残留已引起广泛关注^[3-5]。我国是抗生

收稿日期: 2013-05-10

基金项目: 安徽省教育厅自然科学重点研究项目 (KJ2011A102) 和安徽省教育厅产学研重点项目 (KJ2012A125) 共同资助。

作者简介: 唐俊, 男, 讲师。E-mail: tangjun@ahau.edu.cn

* 通信作者: 花日茂, 男, 博士, 教授, 博士生导师。

素药物的最大生产国和消费国, 年产抗生素原料大约 21 万 t, 出口 3 万 t, 自用 18 万 t, 人均年消费量 138 g 左右(美国仅为 13 g)^[6]。由于抗生素在我国滥用已久^[7], 使得其在地表水中具有广泛分布^[8-12], 已成为我国地表水中的新兴污染物之一。巢湖是我国五大淡水湖之一, 其水质长期受到农业面源污染和合肥市城市排水的影响, 是我国重点污染治理地区之一。现有针对巢湖水体有机氯农药^[13]、重金属^[14]等污染现状的研究, 尚无关于巢湖水中抗生素残留现状的研究报道。本研究就巢湖湖水中喹诺酮类及四环素类 10 种抗生素进行了监测并从主要入湖河流和合肥市生活污水等方面探寻了其污染的来源, 旨在揭示巢湖抗生素污染的特征, 为巢湖及流域水环境管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

Xevo TQ MS 超高效液相色谱-串联质谱仪: 美国 Waters 公司; 固相萃取装置: 十二孔, 美国 Supelco 公司; 超声波清洗器: KQ-5200 型, 昆山市超声仪器有限公司; 氮吹仪: N-EVAPTM 112, Organomation Associates, Inc; pH 计: PHS-3C 型, 上海精密科学仪器有限公司; 电子天平: FA2104A 型, 上海精科仪器有限公司。

1.2 试剂及材料

抗生素标样诺氟沙星(Norfloxacin, NOR)、氧氟沙星(Ofloxacin, OFX)、双氟沙星(Difloxacin, DIF)、洛美沙星(Lomefloxacin, LOM)、环丙沙星(Ciprofloxacin, CIP)、恩诺沙星(Enrofloxacin, ENR), 纯度 $\geq 99\%$, Sigma 公司; 四环素(Tetracycline, TC)、土霉素(Oxytetracycline, OTC)、金霉素(Chlortetracycline, CTC)、强力霉素(Doxycycline, DOC) 标准品, 纯度 $\geq 95\%$, BIO BASIC INC 公司; 乙二胺四乙酸二钠, 分析纯, 国药化工有限公司; 甲醇, 色谱纯, 天津市四友精细化工有限公司; 硫酸, 分析纯, 上海振兴化学试剂有限公司; 玻璃纤维滤膜, 0.45 μm , 上海半岛实业有限公司; Oasis HLB 固相萃取小柱 (500 mg/6 mL), Waters 公司; 实验用水为超纯水。

1.3 样品采集

湖区水样采自巢湖主要入(出)湖河流河口汇合处, 北岸沿湖乡镇区以及东、西湖心(如图 1 所示), 其中采样点 1~6 为西半湖主要入湖河流河口(南淝河河口、十五里河河口、塘西河河口、派河河口、丰乐河河口、兆河河口), 采样点 7 为巢湖唯

一出湖河流——裕溪河河口, 采样点 8 为柘皋河河口, 采样点 9~12 为北岸主要乡镇影响区(中埠镇、黄麓镇、忠庙镇、湖滨镇), 采样点 13、14 分别为西半湖和东半湖湖心。入湖河流水样采自河口上游 500 m 处河心。采样时间为 2012 年 3 月, 采样深度为水面下 0.5 m 处, 每处采集 2.5 L。城市生活污水厂水样采自望塘等合肥市主要 4 个污水处理厂, 分别采集进水及出水各 2.5 L。所有水样采集后立即密封并冷藏, 2 h 内运回实验室保存, 待处理。

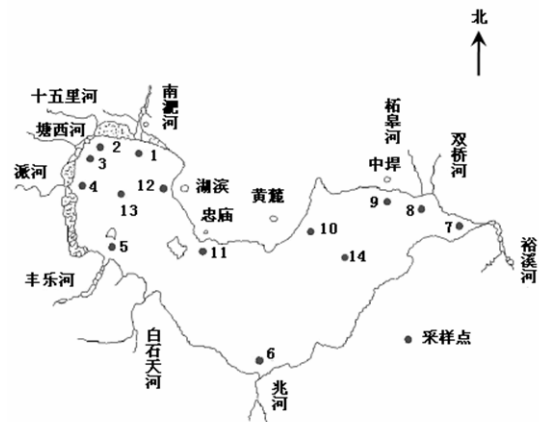


图 1 研究区域采样点示意图

Figure 1 Sketch map of sampling sites in study area

表 1 UPLC-ESI-MS/MS 系统流动相梯度洗脱条件

Table 1 UPLC-ESI-MS/MS system mobile phase gradient program

时间/min Time	流速/ $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ Flow velocity	A/%	B/%
0	0.15	90	10
0.25	0.15	90	10
11	0.15	10	90
12.5	0.15	10	90
12.51	0.15	90	10
15	0.15	90	10

1.4 样品前处理

将采集的水样过 0.45 μm 滤膜除去悬浮物, 用 2 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫酸调节水样 pH 至 3.0, 每个样品检测 3 个平行样, 每个平行样品体积为 500 mL, 加入 0.2 g Na_2EDTA 并摇匀溶解, 然后以 5~8 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 流速通过 HLB 小柱。HLB 小柱上样之前依次用 6.0 mL 甲醇、6.0 mL 超纯水和 6.0 mL EDTA 缓冲液(2.5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 3.0)预淋。水样过柱后, 用 6 mL 纯水洗涤小柱, 然后在氮气保护下真空抽滤干燥 5 min, 然后用 8.0 mL 甲醇洗脱, 洗脱液在 40 $^{\circ}\text{C}$ 下用氮气吹干, 加入 2.0 mL 15% 甲醇水溶液并超声助溶, 过

0.22 μm 滤膜, 待测定。

1.5 仪器条件

1.5.1 色谱条件 色谱柱: ACQUITY UPLC® BEH C_{18} , 1.7 μm , 2.1 mm \times 100 mm; 流速: 0.15 mL \cdot min $^{-1}$; 进样量: 10 μL ; 流动相: A: 2/98=甲醇/水(V/V)+0.1% 甲酸 B: 甲醇+0.1%甲酸, 流动相采用梯度洗脱, 具

体如表 1 所示。

1.5.2 质谱条件 电离方式: ESI^+ ; 毛细管电压: 3 kV; 离子源温度: 150 $^{\circ}\text{C}$; 锥孔反吹气流量: 50 L \cdot Hr $^{-1}$; 脱溶剂气温度: 400 $^{\circ}\text{C}$; 脱溶剂气流量: 800 L \cdot Hr $^{-1}$; 监测模式: MRM 模式, 离子监测条件见表 2。

表 2 目标抗生素的质谱监测参数

Table 2 Tandem mass spectrometric parameters for target antibiotics

药物 Drug	母离子/ $\text{m}\cdot\text{z}^{-1}$ Precursor ion	子离子/ $\text{m}\cdot\text{z}^{-1}$ Monitored ion	碰撞能量/V Collision energy	保留时间/s Retention time
诺氟沙星 Norfloxacin	320.1	233*, 276	20	5.20
环丙沙星 Ciprofloxacin	332.1	288.1*, 314.1	22	5.37
洛美沙星 Lomefloxacin	352.1	265.1*, 308.1	16	5.53
恩诺沙星 Enrofloxacin	360.2	245*, 316.1	22	5.39
氧氟沙星 Ofloxacin	362.1	261.1*, 318.1	20	5.01
双氟沙星 Diffloxacin	400.2	299*, 356.1	21	5.63
强力霉素 Doxycycline	445.2	154*, 428.2	20	7.99
四环素 Tetracycline	445.3	154*, 410.2	20	5.36
土霉素 Oxytetracycline	461.2	426.2*, 443.1	13	5.47
金霉素 Chlortetracycline	479.3	444.2*, 462.2	18	6.86

注: “*” 为定量离子。Note: “*” represents quantitative monitored ion.

2 结果与分析

2.1 方法准确度、精密度和灵敏度

以不含抗生素的水样为基底, 按照 160 和 400 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 的质量浓度加标后用“1.4”方法进行富集回

收, 每个浓度设置 3 次重复, 10 种抗生素的回收率为 80%~122%, 变异系数为 0.6%~10.9%, 以信噪比 $S/N=10$ 计算定量限 (LOQ) 为 0.57~6.42 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 该方法具有较好的准确性和重复性 (表 3 所示)。

表 3 10 种抗生素的添加回收结果

Table 3 Spiked recoveries, limits of quantitation(LOQs)and RSDs of antibiotics in water

药物 Drug	回收率 \pm 变异系数/% Recoveries and relative standard deviation		定量限/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ LOQ
	160 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	400 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	
诺氟沙星 Norfloxacin	101 \pm 4.5	101 \pm 10.9	6.42
环丙沙星 Ciprofloxacin	89 \pm 5.1	95 \pm 2.6	5.13
洛美沙星 Lomefloxacin	101 \pm 3.3	99 \pm 5.1	0.76
恩诺沙星 Enrofloxacin	98 \pm 5.4	107 \pm 5.1	1.56
氧氟沙星 Ofloxacin	122 \pm 5.3	82 \pm 0.6	0.57
双氟沙星 Diffloxacin	100 \pm 1.4	107 \pm 3.4	3.72
强力霉素 Doxycycline	96 \pm 3.1	101 \pm 3.2	3.52
四环素 Tetracycline	94 \pm 4.6	101 \pm 1.8	1.01
土霉素 Oxytetracycline	101 \pm 5.1	95 \pm 4.4	1.26
金霉素 Chlortetracycline	80 \pm 9.8	100 \pm 0.6	2.14

2.2 巢湖湖水中喹诺酮和四环素类抗生素污染现状

14 个采样点水样中 10 种药物均有不同程度的检出 (见表 4)。6 种喹诺酮类药物中氧氟沙星检出率为 100%, 平均浓度为 18.8 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 洛美沙星检出率为 79%, 平均浓度为 1.3 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 恩诺沙星检出率

为 57%, 平均浓度为 13.7 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 诺氟沙星检出率为 36%, 平均浓度为 17.1 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 环丙沙星检出率为 21%, 平均浓度为 10.4 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 双氟沙星检出率为 14%, 平均浓度为 4.1 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 。4 种四环素类抗生素中土霉素检出率最高 (21%), 其次是四环素和金

霉素（14%），强力霉素检出率最低（7%），四环素类抗生素平均浓度为 3.5~42.3 ng·L⁻¹。从浓度最高的

检出点位和检出率看，派河河口和南淝河河口是污染较严重区域。

表 4 巢湖湖水中喹诺酮和四环素类药物污染现状
Table 4 Concentrations of quinolones and tetracyclines antibiotics in the water of Chaohu Lake

药物 Drug	浓度/ng·L ⁻¹ Concentration	检出率/% Detective rate	均值*/ng·L ⁻¹ Average value	浓度最高点位 The site of largest value
诺氟沙星 Norfloxacin	ND~34.8	36	17.1	派河河口
环丙沙星 Ciprofloxacin	ND~13.6	21	10.4	南淝河河口
洛美沙星 Lomefloxacin	ND~2.6	79	1.3	派河河口
恩诺沙星 Enrofloxacin	ND~82.7	57	13.7	南淝河河口
氧氟沙星 Ofloxacin	1.2~182.7	100	18.8	派河河口
双氟沙星 Diffloxacin	ND~4.4	14	4.1	黄麓近岸
强力霉素 Doxycycline	ND~42.3	7	42.3	十五里河河口
四环素 Tetracycline	ND~9.8	14	5.5	兆河河口
土霉素 Oxytetracycline	ND~4.9	21	4.2	派河河口
金霉素 Chlortetracycline	ND~4.4	14	3.5	湖滨近岸

*未检出结果不计入均值的计算 * means that the data of ND are not counted into the calculation of the mean value; ND: 未检出或低于检出限 not detected or lower than LOQ.

巢湖东西半湖抗生素分布不均，东半湖湖心水中仅检出恩诺沙星和氧氟沙星 2 种抗生素，浓度分别为 3.3 和 1.9 ng·L⁻¹，而西半湖湖心水中检出诺氟沙星、洛美沙星、恩诺沙星、氧氟沙星和土霉素、金霉素 6 种药物，浓度为 1.1~7.2 ng·L⁻¹，这反映出西半湖湖水中抗生素污染比东半湖严重。巢湖唯一出水河流——裕溪河河口仅检出洛美沙星和氧氟沙星 2 种药物，浓度分别是 1.2 和 1.4 ng·L⁻¹。巢湖北岸 4 个乡镇区近岸采样点水中喹诺酮和四环素类抗生素检出情况分析，黄麓镇近岸水中共有 7 种药物检出，浓度为 1.2~8.1 ng·L⁻¹，中埠镇近岸有 3 种抗生素检出，浓度为 1.1~2.0 ng·L⁻¹，湖滨镇近岸有 4 种抗生素检出，浓度为 1.1~4.4 ng·L⁻¹，忠庙镇近岸水中有 2 种药物检出，浓度均为 1.3 ng·L⁻¹，说明黄麓镇养殖废水及居民生活排水对巢湖水中药物残留有较大影响。

巢湖湖水中氧氟沙星最高检出浓度（182.7 ng·L⁻¹）高于国内外报道的其他水体中最高检出浓度（45~108 ng·L⁻¹），诺氟沙星（NOR）最高检出浓度（34.8 ng·L⁻¹）低于国内外河流（湖泊）的最高检出浓度（120~572 ng·L⁻¹）。巢湖湖水中环丙沙星（CIP）的最高检出浓度（13.6 ng·L⁻¹）高于法国^[5]纳塞河（10 ng·L⁻¹），低于美国^[15]139 条溪流（30 ng·L⁻¹）和中国莱州湾^[9]（346 ng·L⁻¹）水中最高检出浓度。恩诺沙星（ENR）的研究报道目前还比较少，巢湖湖水中的最高检出浓度（82.7 ng·L⁻¹）高于莱州湾（25 ng·L⁻¹）。中国北方地区河水的四环素族污染较为严

重^[8]，四环素类抗生素最高检出浓度均高于巢湖，洪泽湖湖水中土霉素（OTC）的最高检出浓度（10 ng·L⁻¹）高于巢湖（4.9 ng·L⁻¹）。通过与国内外相关河流比较，说明巢湖湖水中喹诺酮类药物污染较严重，而四环素类污染较轻。

2.3 主要入湖河流中喹诺酮及四环素类抗生素残留现状

8 条入湖河流中，南淝河、十五里河、兆河中喹诺酮和四环素类药物质量浓度较高，介于 115.6~550.7 ng·L⁻¹ 之间，其中浓度最高的是南淝河，其次是十五里河，丰乐河与柘皋河河水中检出抗生素浓度最低，如图 2 所示。

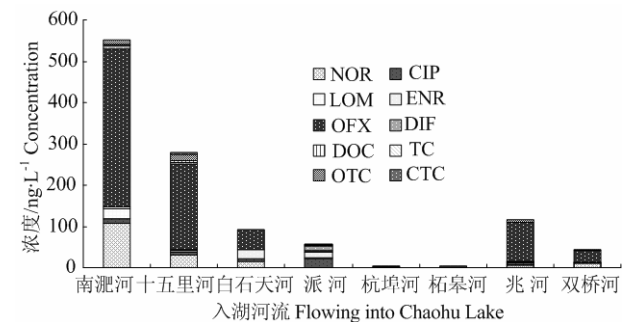


图 2 巢湖入湖河流中抗生素质量浓度
Figure 2 Concentration of antibiotics in each river flowing into Chaohu Lake

10 种药物中，氧氟沙星是检出率和浓度均最高的药物，其检出率达 100%，浓度为 2.2~383.4 ng·L⁻¹，恩诺沙星在南淝河等城市河流中检出浓度低，而在

白石天河与派河两条流经农村地区的河流中检出浓度较高, 分别达到 20.7 和 12.1 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 。土霉素是 4 种四环素药物中检出率最高的, 达 62.5%, 平均浓度为 7.6 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 其在十五里河与南淝河中残留浓度分别为 16.5 和 11.0 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 四环素仅在派河与南淝河中被检出, 浓度分别为 1.9 和 1.8 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 强力霉素和金霉素检出率也较低, 仅在十五里河中检出, 浓度分别为 3.5 和 4.2 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

由于巢湖湖面禁止网箱养殖, 因此入湖河流是巢湖湖水中抗生素的主要来源。派河和南淝河是巢湖的重要入湖河流, 入湖流量大, 派河流经广大的农村的地区, 受农业面源污染较重, 而南淝河是合肥市市区通入巢湖的重要河流, 水中携带的生活性污染物是引起药物较多的原因, 在市区接纳四里河、板桥河、二十埠河来水, 入巢湖前接纳店埠河来水, 既接纳城市排水污染, 又受到农业面源污染影响。

入湖河流中氧氟沙星浓度较高, 这与其应用广泛有直接联系, 氧氟沙星是第 3 代喹诺酮类抗菌药, 具有疗效高、疗程短、耐受性好的优点, 临床应用中还有滴眼液、滴耳液, 洗液、乳膏等十余种制剂^[16]。检出浓度较高的药物还有诺氟沙星, 有报道表明其医疗用量较高^[17-18], 同时诺氟沙星也常作为兽药使用, 在畜牧水产养殖业广泛使用^[9], 因此其在水中的检出频率也较高。恩诺沙星是兽用专用药, 仅用

于养殖业, 因此南淝河等城市河流中检出浓度低, 而在白石天河与派河两条流经农村地区的河流中检出浓度较高, 分别达到 20.7 和 12.1 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 说明农村养殖排放的废水随河流进入湖区, 是恩诺沙星的主要输入因素。四环素类药物也是我国使用较多的抗生素, 特别是土霉素用量较大^[19], 在 8 条入巢的河流中, 土霉素是 4 种四环素药物中检出率最高的。

2.4 城市生活污水中抗生素残留现状

合肥市 4 座主要污水处理厂的进、出水中喹诺酮和四环素类抗生素检测的结果见表 5。6 种喹诺酮类抗生素, 除双氟沙星未检出外, 其余均有检出, 其中氧氟沙星在各水厂进出水中的浓度较大, 进水浓度达到 209.8~595.8 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 出水浓度达 63.2~257.4 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 这与其在入湖河流中的分布情况吻合。4 种四环素类药物中, 土霉素检出率和浓度均较大, 进水浓度达到 12.4~81.0 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 出水浓度达 5.1~22.3 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

生活污水中的药物在处理过程中并不能被全部去除, 有些甚至会出现负去除的现象^[20-21]。合肥市污水处理厂的进出水中抗生素含量较高, 4 座污水处理厂尾水达标后均直接或间接排入南淝河, 使得南淝河成为入湖河流中抗生素浓度最高的河流, 充分说明了城市生活排水对巢湖水质的影响。

表 5 4 座污水处理厂进出水中喹诺酮和四环素检出浓度
Table 5 Concentrations of antibiotics in sewage from four treatment plants

处理厂 STP	水样 Sample	药物 Drug										
		NOR	CIP	LOM	ENR	OFX	DIF	DOC	TC	OTC	CTC	
厂 1 Plant 1	进水 Inflow	184.6	12.4	5.2	ND	209.8	ND	ND	ND	22.7	3.2	
	出水 Effluent	167.6	19.7	2.5	4.4	257.4	ND	ND	ND	22.3	ND	
厂 2 Plant 2	进水 Inflow	277.6	19.7	5.2	ND	460.7	ND	ND	ND	29.3	ND	
	出水 Effluent	92.2	3.1	1.4	ND	251.2	ND	ND	ND	10.0	ND	
厂 3 Plant 3	进水 Inflow	278.7	15.0	13.1	19.4	595.8	ND	5.1	11.9	12.4	ND	
	出水 Effluent	157.4	29.0	2.0	3.0	228.1	ND	5.3	ND	5.1	ND	
厂 4 Plant 4	进水 Inflow	343.7	29.3	15.3	ND	328.6	ND	ND	15.9	81.0	ND	
	出水 Effluent	68.7	2.9	5.3	ND	63.2	ND	ND	12.0	19.0	ND	

3 结论

巢湖湖水中喹诺酮和四环素类抗生素均不同程度检出, 平均浓度为 1.3~42.3 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 其中氧氟沙星检出率最高, 达到 100%。巢湖西半湖湖心处抗生素残留浓度明显高于东半湖湖心处, 说明西半湖水中抗生素污染较东半湖严重。巢湖北岸 4 个乡镇区近岸湖水中抗生素最大检出浓度为 8.1 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 其中黄麓镇居民活动对巢湖湖水抗生素含量具有较大的

影响。南淝河是入湖河流中抗生素质量浓度最高的河流, 达 550.7 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 。合肥市城市生活污水中抗生素广泛存在, 其中氧氟沙星和土霉素分别是两类药物中浓度最高者, 检出率均达 100%。巢湖受到来自合肥市的城市排水和主要入湖河流所携带的抗生素污染, 需加强对抗生素的使用监管和污染治理。

致谢: 感谢巢湖管理局环境监测站为本研究工作所提供的大力帮助。

参考文献:

- [1] Kools S A, Moltmann J F, Knacker T. Estimating the use of veterinary medicines in the European union [J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2008, 50(1): 59-65.
- [2] Kümmerer K. Antibiotics in the aquatic environment-A review-Part I[J]. *Chemosphere*, 2009, 75(4): 417-434.
- [3] Wua C X, Witter J D, Spongberga A L, et al. Occurrence of selected pharmaceuticals in an agricultural landscape, western Lake Erie basin [J]. *Water Research*, 2009, 43(14): 3407-3416.
- [4] Arikana O A, Rice C, Codling E. Occurrence of antibiotics and hormones in a major agricultural watershed [J]. *Desalination*, 2008, 226(1/3): 121-133
- [5] Tamtam F, Mercier F, Le Bot B, et al. Occurrence and fate of antibiotics in the Seine River in various hydrological conditions[J]. *Science of the Total Environment*, 2008, 393(1): 84-95.
- [6] 岳华, 王育伟. 抗生素对社会发展的负面影响研究[J]. *亚太传统医药*, 2011, 7(5): 193-194.
- [7] 陈学锋, 胡廷熹. 抗生素的滥用与原因分析[J]. *药学进展*, 2000, 24(5): 296-297.
- [8] 那广水, 陈彤, 张月梅, 等. 中国北方地区水体中四环素族抗生素残留现状分析[J]. *中国环境监测*, 2009, 25(6): 78-80.
- [9] 张瑞杰, 张干, 郑芊, 等. 喹诺酮类抗生素在莱州湾及主要入海河流中的含量和分布特征[J]. *海洋环境科学*, 2012, 31(1): 53-58.
- [10] 姜蕾, 陈书怡, 杨蓉, 等. 长江三角洲地区典型废水中抗生素的初步分析[J]. *环境化学*, 2008, 27(3): 371-374.
- [11] 叶计朋, 邹世春, 张干, 等. 典型抗生素类药物在珠江三角洲水体中的污染特征[J]. *生态环境*, 2007, 16(2): 284-388.
- [12] 徐维海, 张干, 邹世春, 等. 香港维多利亚港和珠江广州河段水体中抗生素的含量特征及其季节变化[J]. *环境科学*, 2006, 27(12): 2458-2462.
- [13] 张明, 花日茂, 李学德, 等. 巢湖表层水体中有机氯农药的分布及其组成[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 209-214.
- [14] 童军华, 黄祥明, 陈勇. 巢湖水体重金属污染评价[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(17): 4373-4374.
- [15] Kolpin D W, Furlong E T, Meyer M T, et al. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in US streams, 1999-2000: Anational reconnaissance[J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 36(6): 1202-1211.
- [16] 王晓霞, 梅青, 黄维胜. 国内左氧氟沙星的开发与应用[J]. *中国药师*, 2007, 10(3): 279-280.
- [17] 王刚斌, 程军. 2006-2008 年我院氟喹诺酮类抗菌药物应用分析[J]. *中国医院用药评价与分析*, 2009, 9(5): 354-357.
- [18] 张波, 刘玉华. 某院 2007 至 2009 年度喹诺酮类抗菌药物使用分析[J]. *中国医药指南*, 2010, 8(26): 112-113.
- [19] 张浩, 罗义, 周启星. 四环素类抗生素生态毒性研究进展[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(2): 407-413.
- [20] 常红, 胡建英, 王乐征, 等. 城市污水处理厂中磺胺类抗生素的调查研究[J]. *科学通报*, 2008, 53(2): 159-164.
- [21] Mcardell C S, Molnar E, Suter M J F, et al. Occurrence and fate of macrolide antibiotics in wastewater treatment plants and in the Glatt Valley Watershed, Switzerland[J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, 37(24): 5479-5486.