

## 江西省畜禽养殖废水及环境中抗生素残留现状调查

陈军平<sup>1</sup>, 杨艳丽<sup>2</sup>, 吴志强<sup>1</sup>, 彭刚华<sup>1</sup> (1. 江西省环境监测中心站, 江西南昌 330039; 2. 南昌大学科技园, 江西南昌 330096)

**摘要** [目的]调查江西省畜禽养殖废水及环境中抗生素残留现状。[方法]建立了高效液相色谱串联四极杆质谱对四环素(TC)、金霉素(CTC)、磺胺二甲嘧啶(SMT)、磺胺甲噁唑(SMX)、诺氟沙星(NFC)、氧氟沙星(OFC)6种抗生素的检测方法,对江西省南昌县12个规模化养猪场养殖废水及下游水环境样品进行调查。[结果]6种抗生素在养殖废水中都有检出,最大检出浓度分别为0.110、0.135、0.106、0.181、0.024和0.911 μg/L,以氧氟沙星最高;在下游水环境检出率分别为58.3%、33.3%、66.7%、75.0%、41.7%和100.0%,氧氟沙星检出率最高。[结论]下游水环境中抗生素残留量总体低于养殖废水,四环素类和磺胺类抗生素在少数养殖场下游环境水体中有一定富集。

**关键词** 抗生素;畜禽养殖废水;水环境;残留量

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)31-224-04

## Pollution of Antibiotics in Livestock Wastewater and the Environmental Water in Jiangxi Province

CHEN Jun-ping<sup>1</sup>, YANG Yan-li<sup>2</sup>, WU Zhi-qiang<sup>1</sup> et al (1. Environmental Monitoring Center of Jiangxi Province, Nanchang, Jiangxi 330039; 2. The Science and Technology Park of Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330096)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study antibiotics pollution in livestock wastewater and the environmental water in Jiangxi Province. [Method] A method for the determination of tetracycline (TC), chlortetracycline (CTC), sulfamethazine (SMT), sulfamethoxazole (SMX), norfloxacin (NFC) and ofloxacin (OFC) in environmental water samples was developed by using high performance liquid chromatography-mass spectrometry (HPLC-MS/MS). The samples of livestock wastewater and the downstream environmental water were collected from 12 pig farms in Nanchang County of Jiangxi. [Result] 6 kinds of antibiotics in livestock wastewater have been checked out, and the maximum detection concentrations in livestock wastewater were 0.110, 0.135, 0.106, 0.181, 0.024 and 0.911 μg/L for TC, CTC, SMT, SMX, NFC and OFC respectively, in which OFC had the highest detection concentration. The detection rates in downstream environmental water were 58.3%, 33.3%, 66.7%, 75.0%, 41.7% and 100.0% for TC, CTC, SMT, SMX, NFC and OFC respectively, in which OFC had the highest detection rate. [Conclusion] The residual amounts of antibiotics in downstream water environment were lower than that in the livestock wastewater, and tetracyclines and sulfonamides antibiotics had certain enrichment in the downstream environmental water of a few farms.

**Key words** Antibiotics; Livestock wastewater; Water environment; Residue

抗生素作为一种重要的药物广泛用于医药、畜牧业和水产养殖业。调查表明,目前我国抗微生物类药物(包括抗菌促生长剂)占主导地位,市场份额占60%以上<sup>[1]</sup>,与西方国家30%比例相比,反映了我国抗生素滥用情况严重<sup>[2]</sup>。由于缺乏有效的监管,集约化畜禽养殖场的污染物排放基本处于放任自“流”的状态。徐昌旭等对江西省19个猪场的调查表明,能够达到基本《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB18596-2001)的只有2个,占10.5%;建有沼气池或3级沉淀池的猪场并在使用的只有7个,占36.8%;有10个猪场基本上是直接排放,主要排入河流中<sup>[3]</sup>。因此,集约化养殖对环境水体的污染比较严重,除排放高浓度COD、氮、磷等常规污染物外,也向环境水体排放抗生素类污染物,其中磺胺类、喹诺酮类、大环内酯类、四环素类等抗生素在畜禽养殖废水中最为常见。

目前,江西省研究集约化养殖对水环境的污染主要还集中在COD、氮、磷等常规污染物上,抗生素的污染研究鲜有报道。近年来,国内已陆续开展了一些相关工作,但涉及养殖场排水口水体的测定和下游水体中抗生素变化的研究较少。为掌握磺胺类、喹诺酮类、四环素类抗生素污染对养殖场周边水体的污染,该研究建立了水中磺胺类、喹诺酮类、四环素类3类6种抗生素的HPLC-MS/MS检测方法,对南昌县12

个集约化养猪场的养殖废水和下游环境水体进行了采样、分析,旨在为环鄱阳湖周边水环境中的抗生素污染研究提供基础依据,对进一步研究抗生素在环境中的污染风险和生态毒性评价等具有重要意义。

## 1 材料与方法

## 1.1 仪器与试剂

**1.1.1 仪器设备。**Agilent 1200S型高效液相色谱仪,配API 4000 Qtrap串联四极杆线性离子阱质谱仪(美国AB公司);色谱柱C18柱;ASE-12固相萃取仪;Waters Oasis HLB 200 mg 6 ml固相萃取小柱;MTN-2800W氮吹仪;Centrifuge 5804型离心机;微孔滤膜(0.22 μm);Milli-Q超纯水仪等。

**1.1.2 试剂。**抗生素标准物四环素(TC)、金霉素(CTC)、磺胺二甲嘧啶(SMT)、磺胺甲噁唑(SMX)、诺氟沙星(NFC)、氧氟沙星(OFC)纯度为99.8%,中国药品生物制品检定所;甲酸、甲醇、乙腈均为色谱级;乙二胺四乙酸二钠和其他试剂均为分析纯试剂;试验用水为超纯水。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 样品采集与储存。**样品采集于2012年7月,分别采集规模化养殖场养殖废水、养殖场附近下游地表水体,共24个样品。样品用500 ml聚乙烯塑料瓶封口,冰袋保存带回实验室,于-20℃储存。

**1.2.2 样品前处理。**水样的处理:水样离心10 min(8 000 r/min),取200 ml上清液,加入0.2 g Na<sub>2</sub>EDTA,摇匀,将pH调至2.5~3.0。样品上ASE-12固相萃取仪,用经5 ml甲醇和5 ml水活化后Oasis HLB固相萃取小柱进行富集纯化,流

**基金项目** 水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07527-003)。  
**作者简介** 陈军平(1979-),男,江西吉安人,工程师,硕士,从事环境保护与监测技术工作。  
**收稿日期** 2015-09-23

速控制在 1 ml/min 左右,用 2 ml 5% 甲醇水溶液净化小柱,负压抽干 5 min。然后用 6 ml 氨水 - 甲醇 (5:95, V/V) 洗脱<sup>[4]</sup>,洗脱液用氮气吹至近干,最后用初始比例的流动相定容至 1 ml,过 0.22  $\mu\text{m}$  的滤膜,待测<sup>[5]</sup>。

**1.2.3 标准溶液的配制。**分别准确称取 0.01 g 标准物质,用甲醇配成 100 g/ml 的标准储备液。准确吸取 0.5 ml 四环素、金霉素、磺胺二甲嘧啶、磺胺甲噁唑、诺氟沙星、氧氟沙星标准储备液,用甲醇配成 5.0 g/ml 的混合标准储备液, -20  $^{\circ}\text{C}$  避光存放。分析时取适量混合标准储备液,用甲醇稀释制备成标准工作液,4  $^{\circ}\text{C}$  避光存放。

表 1 多反应监测模式下 6 种抗生素的质谱分析参数

抗生素	缩写	相对分子质量	母离子 m/z	子离子 m/z	去簇电压 V	碰撞电压 V
四环素	TC	444.45	445.2	154.3	75	70
				410.5	75	30
				427.5	75	20
金霉素	CTC	478.89	479.3	154.2	75	41
				444.4	75	30
				462.4	75	24
磺胺甲噁唑	SMX	253.28	254.0	156.0	50	23
				147.0	50	22
磺胺二甲嘧啶	SMT	278.33	279.0	156.0	55	22
				204.0	55	20
诺氟沙星	NFC	319.34	320.2	276.2	75	26
				233.2	75	36
氧氟沙星	OFC	361.38	362.3	318.1	75	29
				261.2	75	40

**1.2.5 方法验证。**配制 0.2 ~ 200.0  $\mu\text{g/L}$  工作标准溶液,采用外标定量法,建立金霉素、四环素、磺胺甲噁唑、磺胺二甲嘧啶、诺氟沙星和氧氟沙星的定量校正曲线,6 种抗生素的线性回归系数  $R$  均达到 0.996 以上。以信噪比  $\geq 10$  时的浓度为定量检出限,得到目标化合物的检测限为 1 ~ 10 ng/L,结合测定的 4 个添加浓度 5 次重复的回收率平均值为 74.7% ~ 82.1%,相对标准偏差 RSD 在 1.7% ~ 5.8% 之间。

## 2 结果与分析

**2.1 养殖废水中磺胺类、喹诺酮类、四环素类抗生素残留现状** 对南昌县 12 个集约化养猪场养殖废水的抗生素残留调查结果(表 2)表明,养殖废水中磺胺类、喹诺酮类、四环素类抗生素均有检出,主要原因可能是 3 类抗生素在规模化养殖

**1.2.4 色谱和质谱条件。**色谱条件:以乙腈和 0.4% 甲酸为流动相,采用梯度洗脱的方式对养猪废水中抗生素类物质进行 LC-MS/MS 测定。优化的色谱条件如下:色谱柱为  $\text{C}_{18}$  柱 (46 mm  $\times$  250 mm, 5  $\mu\text{m}$ ),流速为 1.0 ml/min,进样量为 20  $\mu\text{l}$ ,流动相 A 为 0.4% 甲酸水溶液,流动相 B 为乙腈,梯度程序为 10% A 和 90% B 0 min,70% A 和 30% B 5 min,10% A 和 90% B 8 min。质谱条件:正离子模式扫描 (ESI+);采集方式为 MRM;离子源温度为 500  $^{\circ}\text{C}$ ;电喷雾电压 (IS) 为 5 500 V;碰撞气体速度为中流速。优化后的质谱条件见表 1。

场“以饲代药”使用较为普遍。魏瑞成等研究表明,抗生素在畜禽养殖业中以亚治疗剂量长期添加于动物饲料中,刺激动物生长和促进增产。检出浓度表现为喹诺酮类 > 四环素类 > 磺胺类,喹诺酮类抗生素中氧氟沙星检出浓度大于诺氟沙星检出浓度,氧氟沙星的最大检出浓度为 0.911  $\mu\text{g/L}$ ,最低检出浓度为 0.103  $\mu\text{g/L}$ ,中位数为 0.299  $\mu\text{g/L}$ ;四环素类抗生素表现为四环素检出浓度大于金霉素的检出浓度,四环素的最大检出浓度为 0.110  $\mu\text{g/L}$ ,最低检出浓度为 0.054  $\mu\text{g/L}$ ,中位数为 0.074  $\mu\text{g/L}$ ;磺胺类抗生素表现为磺胺甲噁唑检出浓度大于磺胺二甲嘧啶检出浓度,磺胺甲噁唑的最大检出浓度为 0.181  $\mu\text{g/L}$ ,最低检出浓度为 0.020  $\mu\text{g/L}$ ,中位数为 0.068  $\mu\text{g/L}$ 。

表 2 养殖废水中 6 种抗生素检出浓度

养殖场编号	磺胺二甲嘧啶	磺胺甲噁唑	金霉素	四环素	诺氟沙星	氧氟沙星
养猪场 1	0.010	0.024	0.135	0.110	0.008	0.113
养猪场 2	0.106	0.020	0.020	0.054	0.006	0.103
养猪场 3	0.064	0.026	0.010	0.060	0.006	0.133
养猪场 4	0.071	0.024	0.037	0.070	0.010	0.294
养猪场 5	0.032	0.042	0.007	0.058	0.005	0.275
养猪场 6	0.008	0.048	0.031	0.064	0.007	0.435
养猪场 7	0.006	0.097	0.006	0.082	0.006	0.167
养猪场 8	0.021	0.181	0.006	0.099	0.020	0.911
养猪场 9	0.012	0.092	0.006	0.084	0.024	0.339
养猪场 10	0.007	0.093	0.012	0.072	0.009	0.317
养猪场 11	0.007	0.088	0.008	0.076	0.006	0.501
养猪场 12	0.005	0.089	0.008	0.081	0.006	0.305
中位数	0.011	0.068	0.009	0.074	0.007	0.299

## 2.2 环境水体中磺胺类、喹诺酮类、四环素类抗生素污染现状

12个集约化养猪场下游环境水体的抗生素残留调查结果见表3,环境水体中6种抗生素均有不同程度的检出。从检出率结果看,表现为氧氟沙星(100.0%)>磺胺甲噁唑(75.0%)>磺胺二甲嘧啶(66.7%)>四环素(58.3%)>诺氟沙星(33.3%)>金霉素(25.0%)。12个养殖场中,4号养

殖场下游环境水体的抗生素检出率最高,6种抗生素都有检出,10和12号养殖场下游环境水体的抗生素检出率最低,只检出氧氟沙星。环境水体中6种抗生素残留浓度的中位值结果为氧氟沙星>四环素>金霉素>磺胺甲噁唑>诺氟沙星>磺胺二甲嘧啶,其中氧氟沙星在环境水体中的绝对检出浓度最大,达到0.464 μg/L。

表3 环境水体中6种抗生素检出浓度

养殖场编号	磺胺二甲嘧啶	磺胺甲噁唑	金霉素	四环素	诺氟沙星	氧氟沙星
养猪场1	ND	0.008	0.071	0.088	ND	0.025
养猪场2	0.044	0.015	0.024	0.036	ND	0.030
养猪场3	0.048	0.052	ND	ND	ND	0.093
养猪场4	0.066	0.051	0.041	0.053	0.008	0.168
养猪场5	0.011	0.029	ND	ND	ND	0.041
养猪场6	0.005	0.048	ND	0.067	0.005	0.168
养猪场7	ND	0.017	ND	ND	0.005	0.138
养猪场8	0.004	0.071	ND	0.111	ND	0.464
养猪场9	0.014	0.028	ND	0.052	0.018	0.174
养猪场10	ND	ND	ND	ND	ND	0.082
养猪场11	ND	ND	ND	0.063	ND	0.256
养猪场12	ND	ND	ND	ND	ND	0.043
中位数	0.014	0.029	0.041	0.063	0.008	0.138
检出率//%	66.7	75.0	25.0	58.3	33.3	100.0

## 2.3 喹诺酮类、磺胺类、四环素类抗生素污染潜在危害分析

12个集约化养猪场养殖废水和环境水体中6种抗生素残留量调查结果对比情况见图1。由图1可见,环境水体中6种抗生素的残留量总体表现为低于养殖废水中残留量趋势。其中,喹诺酮类抗生素氧氟沙星和诺氟沙星在环境水体中残留量均低于养殖废水中残留量;磺胺类抗生素有部分养猪场环境水体残留量高于养殖废水残留量,3和4号养殖场磺胺甲噁唑的环境水体残留量约为养殖废水残留量的2倍,9号养殖场磺胺二甲嘧啶环境水体残留量约为养殖废水残留量的1.2倍,表现出一定的富集性;四环素类抗生素也表现出部分养猪场环境水体残留量高于养殖废水残留量,2和4号养殖场金霉素的环境水体残留量约为养殖废水残留量的1.2倍,6和8号养殖场四环素环境水体残留量约为养殖废水残留量的1.1倍。

## 3 讨论

自从1929年青霉素被发现并临床应用,抗生素作为一种重要的药物广泛用于医药、畜牧业和水产养殖业。1996年全球抗生素饲料添加剂的用量占全部饲料添加剂用量的45.8%,抗生素总产量的70%左右用于畜牧业<sup>[6-11]</sup>。我国是抗生素的生产和使用大国,畜禽养殖业中抗生素不合理应用的现象非常普遍,每年有6000 t抗生素用于饲料添加剂,占全球抗生素饲料添加剂使用量的50%<sup>[12]</sup>。然而研究表明,抗生素进入机体后,少部分经过羟基化、裂解和葡萄糖苷酸化等代谢反应生成无活性的产物,很大一部分以原形通过粪便和尿液排出体外<sup>[7,13-15]</sup>。

邵义萍等对广东省畜牧粪便研究表明,猪粪中喹诺酮类和磺胺类抗生素均全部被检出,前者平均总含量为581.0 μg/kg,以恩诺沙星和环丙沙星为主;后者平均总含量为4403.9 μg/kg,以磺胺甲噁唑和磺胺甲噁唑为主<sup>[16]</sup>。陈

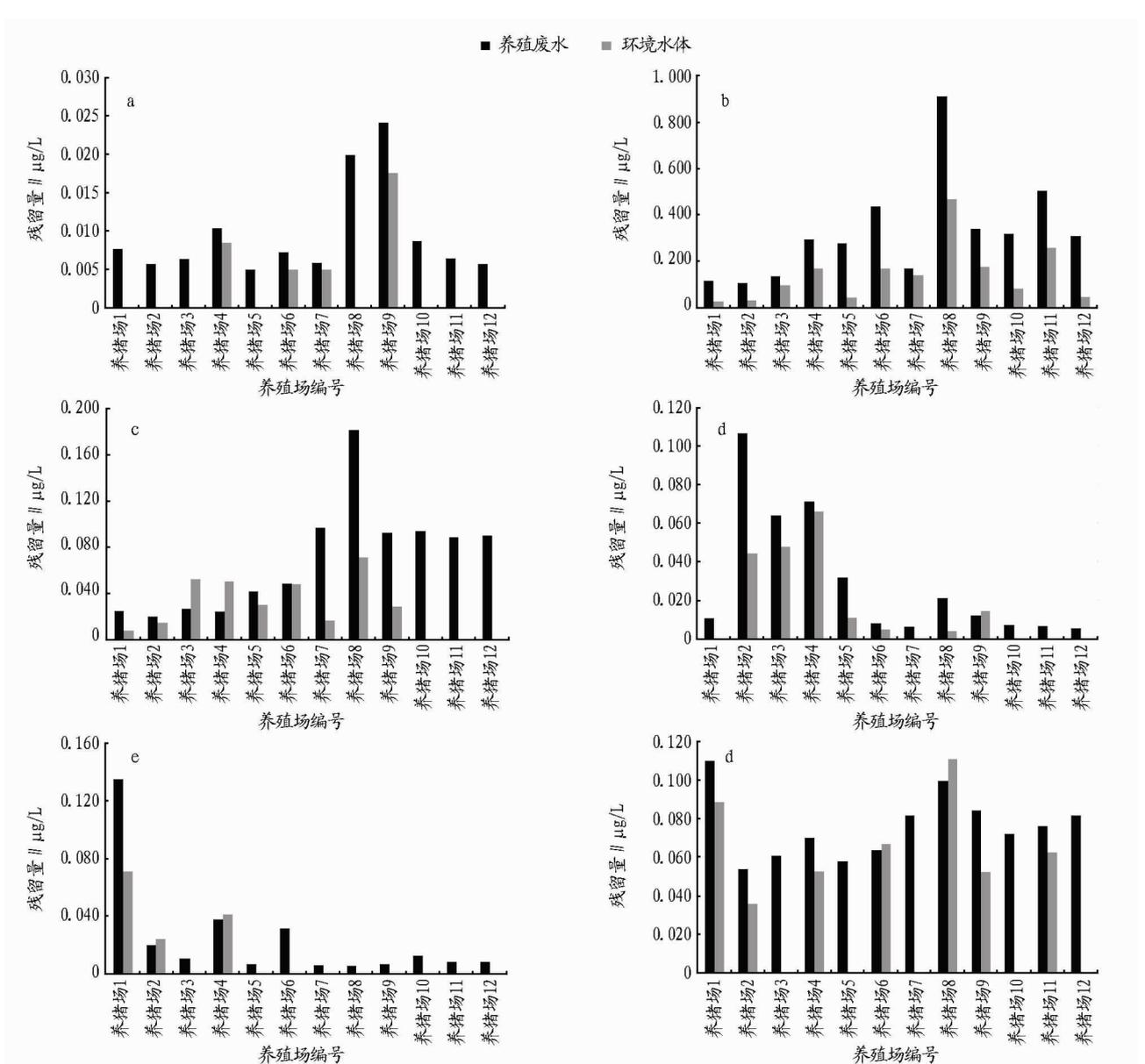
昇等对江苏省集约化畜禽养殖排泄物调查结果为磺胺类药物残留的检出率普遍较高,其中磺胺二甲嘧啶、磺胺氯吡啶、磺胺检出率均高于50%<sup>[9]</sup>。该调查结果为氧氟沙星(100.0%)>磺胺甲噁唑(75.0%)>磺胺二甲嘧啶(66.7%)>四环素(58.3%)>诺氟沙星(33.3%)>金霉素(25.0%),与陈昇等研究结果较为相似。

有研究表明,四环素类和磺胺类药物在地表水中浓度为0.03~0.06 μg/L,而在水产养殖场的水样中浓度为1~6 mg/L<sup>[17]</sup>。该调查结果表明,养殖废水中磺胺类抗生素浓度为0.005~0.181 μg/L、四环素类抗生素浓度为0.054~0.135 μg/L、喹诺酮类抗生素浓度为0.005~0.911 μg/L;环境水体中磺胺类抗生素检出浓度为0.004~0.066 μg/L、四环素类抗生素检出浓度为0.024~0.111 μg/L、喹诺酮类抗生素检出浓度为0.005~0.464 μg/L。有资料表明,抗生素类药物在环境中比较稳定,其半衰期长达20 d到几年<sup>[18-21]</sup>,且能迁移和富集;氯四环素与土壤固相紧密结合,可能在土壤环境中累积;而磺胺甲噁唑因其难降解性,在环境中持续长期存在的可能性较大,具有一定的环境风险性<sup>[19]</sup>。该调查结果表明,磺胺类和四环素类抗生素在少数养殖场下游水环境中存在一定富集,这与养殖场周边环境容量和养殖场污水排放量有关。

## 4 结论

(1)6种抗生素在12个集约化养猪场养殖废水中都有检出,喹诺酮类检出浓度最大为氧氟沙星,为0.911 μg/L;四环素类检出浓度最大为四环素,为0.110 μg/L;磺胺类检出浓度最大为磺胺甲噁唑,为0.181 μg/L。

(2)环境水体中6种抗生素均有不同程度的检出,其中氧氟沙星在环境水体中的绝对检出浓度最大,达到0.464 μg/L。



注: a. 诺氟沙星; b. 氧氟沙星; c. 磺胺甲噁唑; d. 磺胺二甲嘧啶; e. 金霉素; f. 四环素。

图1 养殖废水和环境水体抗生素残留量比较

(3) 养殖场下游环境水体中6种抗生素的残留量总体存在低于养殖废水中残留量趋势,但磺胺类和四环素类抗生素在少数养殖场下游水环境中有一定富集。

#### 参考文献

[1] 陈杖榴. 兽用化学药物研发动向[J]. 中国兽药杂志, 2005, 39(7): 1-6.  
 [2] BRUCE J R, PAUL K S L, MICHAEL M. Emerging chemicals of concern: Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in Asia, with particular reference to Southern China[J]. Marine pollution bulletin, 2005, 50: 913-920.  
 [3] 徐昌旭, 李建国, 刘光荣. 江西省畜禽养殖业污染与环境承载力[C]// 全国农业生物资源与环境调控学术研讨会. 厦门: 中国农学会, 中国腐植酸工业协会, 2006: 55-60.  
 [4] 王丽梅, 罗义, 毛大庆, 等. 抗生素抗性基因在环境中的传播扩散及抗性研究方法[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 1063-1069.  
 [5] SMITH M S, YANG R K, KNAPP C W, et al. Quantification of tetracycline resistance Genes in feedlot lagoons by real-time PCR [J]. Appl environ microbiol, 2004, 70: 7372-7377.  
 [6] HEILIG S, LEE P, BRESLOW L. Curtailing antibiotic use in agriculture [J]. West J Med, 2002, 176: 9-11.

[7] 王冰, 孙成, 胡冠九. 环境中抗生素残留潜在风险及其研究进展[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(3): 108-112.  
 [8] 张慧敏, 章明奎, 顾国平. 浙北地区畜禽粪便和田壤中四环素类抗生素残留[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(3): 69-73.  
 [9] 陈昇, 董元华, 王辉, 等. 江苏省畜禽粪便中磺胺类药物残留特征[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 385-389.  
 [10] 刘新程, 董元华, 王辉. 江苏省集约化养殖畜禽排泄物中四环素类抗生素残留调查[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 1177-1182.  
 [11] 王惠惠, 王淑平. 畜禽排泄物中抗生素残留与控制技术研究进展[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 250-256.  
 [12] 周启星, 罗义, 王美娥. 抗生素的环境残留、生态毒性及抗性基因污染[J]. 生态毒理学报, 2007, 2(3): 243-251.  
 [13] ROMAN H, TERNES T, KLAUS KARL-LUDWIG K H. Occurrence of antibiotics in the aquatic environment[J]. The science of the total environment, 1999, 225: 109-118.  
 [14] SHINWOO Y, CHA J, KENNETH C. Quantitative determination of trace concentrations of tetracycline and sulfonamide antibiotics in surface water using solid-phase extraction and liquid chromatography/ion trap tandem mass spectrometry[J]. Rapid communication in mass spectrometry, 2004, 18: 2131-2145.

(下转第 230 页)

和城市河段的水资源量较小,纳污集中,且支流受面源污染的影响较大,因此其污染问题较为突出。从废水污染排放的结构看,生活污染占主要部分,且近年来呈现升高的态势。

**3.3 全省湖泊水质总体为中度污染,城中湖泊污染严重** 2013年湖北省湖泊水质调查监测结果表明,湖北省湖泊水质总体为中度污染,主要污染指标为总磷、化学需氧量和五日生化需氧量。城中湖泊总体水质为重度污染,富营养化程度严重。城市内湖大多数为城市的纳污水体,大量生活污水及城市雨污水排入湖内,而且水量交换较小,使得污染物在湖内蓄积严重,出现内源性污染。

**3.4 乡镇、农村饮用水源地水质安全存在风险** 2013年湖北省乡镇饮用水源地中,地表水水源地个数达标率为84.4%,地下水水源地个数达标率为81.8%。农村环境质量试点监测中,地表水水源地个数达标率为91.7%,地下水水源地个数达标率为65.0%。总体上看,乡镇、农村饮用水源地水质状况劣于城市饮用水,地下水水源地水质状况劣于地表水。

#### 4 环境质量趋势预测

2014年湖北省重点城市分批完成省控空气自动监测点位的升级改造工作,全部具备了包括SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO和O<sub>3</sub>在内的6项空气污染指标的监测能力。2015年之后,全省空气质量评价都将执行收严的新空气质量标准,空气优良天数比例和达标城市比例将会有一定程度下降。

为切实改善空气质量,国务院于2013年发布了《大气污染防治行动计划》,要求2017年全国地级及以上城市PM<sub>10</sub>浓度较2012年下降10%以上,优良天数逐年提高,要求经过5年努力,全国空气质量“总体改善”。同时,为确保各项任务措施落到实处,行动计划将环境质量是否改善纳入官员考核体系之中,并对考核和问责作了明确规定。作为我国有史以来最为严格的大气治理行动计划,《大气污染防治行动计划》的实施对空气质量的改善将起到积极的推动作用,但短时间空气质量明显改善的压力较大。

全省地表水环境质量总体保持稳定,但部分支流及城市内湖污染等水环境问题仍将存在。近年来,全省工业废水中污染物的排放量逐渐下降,但生活污水中污染物排放量有所上升,生活污染排放愈加严重,使水质改善存在较大压力。此外,2014年底南水北调中线工程正式调水,调水后湖北省汉江中下游流域水文情势将发生变化,汉江水生态安全将面临考验。

#### 5 对策与建议

**5.1 以完善环境经济政策为导向,以PM<sub>2.5</sub>防控为重点,开展大气污染综合防治** 要以《大气污染防治行动计划》为纲领,以完善环境经济政策为导向,以PM<sub>2.5</sub>防控为重点,以预

警预测为先导,开展全社会综合污染治理行动。推进节能减排,全面优化调整产业结构,加快淘汰落后产能,科学规划产业布局;推广清洁能源,深化机动车的污染防治,提高车用燃油品质;继续实行环境信息公开,及时公布空气质量监测数据和信息;加快监测预警应急体系建设,建立重污染天气监测预警体系,及时发布监测预警信息,制定和完善应急预案并向社会公布。

**5.2 强化水污染防治,重点治理劣V类等污染严重水体** 优化流域的产业布局,对沿河污染排放强度高的产业实行有针对性的专项减排措施,着力削减污染来源;强化污染较重地区的生活污染治理,进一步加强污水处理能力,改善人口集聚对水环境带来的压力;切实提高面源污染治理效力,提高施肥技术以减少化肥的施用量。

**5.3 加强湖泊资源保护与管理,维护湖泊生态健康** 明确湖泊功能定位,建立湖泊管理的长效机制。完善湖泊保护体系,制定湖泊保护和利用的科学规划。加强湖泊生态治理与修复,从末端治理转向源头控制,严格控制农业面源、工业污染源和城市污水的排放,加强湖泊变化监测,掌握湖泊生态与环境动态变化。完善公众参与机制,推动公众参与湖泊的管理和保护。

**5.4 保障乡镇、农村饮用水安全,加大饮用水源保护力度** 强化乡镇、农村饮用水水源环境综合整治,建立乡镇、农村饮用水源地环境监管体系,加大执法检查力度,提高居民的水源保护意识,有条件的地区推行城乡供水一体化。同时,要提高乡镇、农村生活污水和垃圾处理水平;推进农业面源污染防治,从源头上降低水源污染风险。加大饮用水源保护力度,加强水源保护区污染源监管,依法取缔保护区内违法建设项目和排污口;加强饮用水源地环境监管及应急能力建设,完善应急预案。

#### 参考文献

- [1] 焦玉凤. 湖北省产业结构与经济增长的实证分析[J]. 当代经济, 2013(1): 122-124.
- [2] 高雪玲, 关健玲, 许锋. “十五”以来陕西省环境质量变化趋势分析[J]. 水土保持通报, 2009, 29(6): 185-188.
- [3] 黄卫, 沈红军, 张涛. 江苏省“十一五”环境质量状况及成因分析[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(6): 40-44.
- [4] 李茜, 宋金平, 张建辉, 等. 中国城市化对环空气环境质量影响的演化规律研究[J]. 环境科学学报, 2013, 33(9): 2402-2411.
- [5] 李小飞, 张明军, 王圣杰, 等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 1936-1943.
- [6] 吴雷, 王慧. 城市颗粒物污染源与特性分析[J]. 干旱环境监测, 2003, 17(3): 157-159.
- [7] 闫静, 王文川, 杨娟, 等. 浅析成都市机动车保有量的增加对大气污染物中二氧化氮浓度的影响[J]. 四川环境, 2012, 31(1): 34-36.
- [8] 刘允, 孙宗光. 2001-2012年全国水环境质量趋势分析[J]. 环境化学, 2014, 33(2): 286-291.

(上接第227页)

- [15] 刘小云, 舒为群. 水中抗生素污染现状及检测技术研究进展[J]. 中国卫生检验杂志, 2005(15): 1011-1014.
- [16] 邵文萍, 罗晓栋, 莫测辉. 广东省畜牧粪便中喹诺酮类和磺胺类抗生素的含量与分布特征研究[J]. 环境科学, 2011, 32(4): 1188-1194.
- [17] LE T X, MUNEKAGE Y. Residues of selected antibiotics in water and mud from shrimp ponds in mangrove areas in Vietnam[J]. Marine pollution bulletin, 2004, 49: 922-929.
- [18] INGERSLEV F, HALLING-SORENSEN B. Biodegradability properties of

sulfon-amides in activated sludge[J]. Environmental toxicology and chemistry, 2000, 19: 2467-2473.

- [19] THIELE-BRUHN S. Pharmaceutical antibiotic compounds in soils[J]. Journal of plant nutrition and soil science, 2003, 166: 145-167.
- [20] 胡瑞刚, 罗义, 周启星, 等. 固相萃取-高效液相色谱法测定畜牧粪便中13种抗生素药物残留[J]. 分析化学, 2008, 36(9): 1162-1166.
- [21] 沈颖, 魏源送, 郭睿, 等. 超高效液相色谱串联质谱检测猪粪中残留的四环素类抗生素[J]. 环境化学, 2009, 28(5): 747-752.