

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放 何吉成(1)

北京上甸子站气相色谱法大气 CH₄ 和 CO 在线观测方法研究 汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)

2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)

广东东江流域多氯萘的大气沉降研究 王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)

塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征 段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)

紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究 王灿,席劲瑛,胡洪管,姚远(32)

春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征 丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)

春季胶州湾海水汞的形态研究 许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)

丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素 蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)

塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化 陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)

某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟 马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)

北京市城市降雨径流水质评价研究 侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)

重庆市路面降雨径流特征及污染源解析 张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)

沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究 陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)

Pd/TiO₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究 张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)

pH值对纳米零价铁吸附降解2,4-二氯苯酚的影响 冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)

给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究 陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)

安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价 宋大平,庄大方,陈巍(110)

染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析 曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)

间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究 谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)

pH及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响 庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)

硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究 吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)

农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用 徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)

高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究 廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)

活性污泥对四环素的吸附性能研究 陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)

加油站油类污染物自然衰减现场试验研究 贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)

生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法 宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)

利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数 王晓玲,尹军,高尚(175)

数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响 董峰,张捍民,杨凤林(181)

不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响 刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)

间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究 曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)

鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究 陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)

北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估 陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)

外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究 杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)

赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建 朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究 别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)

纳米 TiO₂ 对短裸甲藻的毒性效应 李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)

苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险 李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)

电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析 王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)

洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险 刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)

湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价 刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)

广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律 项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)

缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究 吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)

可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复 付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)

胡敏酸对汞还原能力的测定和表征 江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)

Zn(II)对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响 黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)

油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究 张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)

利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地表微生物群落结构 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)

黄土高原六道沟流域8种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究 封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)

鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析 张健,关连珠,颜丽(323)

杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响 赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

《环境科学》征稿简则(7) 《环境科学》征订启事(19) 信息(47,70,202,304)

安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价

宋大平¹, 庄大方², 陈巍^{1*}

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 以安徽省耕地、水体的环境保护为出发点, 依据 2001~2009 年安徽省畜禽养殖数据, 采用排泄系数法估算畜禽粪便量, 在此基础上计算安徽省各地畜禽粪便耕地污染负荷及水体等标污染负荷指数, 并对各地区畜禽粪便对耕地和水环境的污染现状进行风险评价。结果表明, 2008~2009 年安徽省平均产生 0.67 亿 t 粪便, 畜禽粪便耕地污染负荷及纯 N、纯 P 耕地负荷量平均值分别为 $16.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $83.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $34.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 耕地污染指数为 0.36, 处于 I 级预警级别范围; 水环境等标污染负荷指数为 7.03, 各地区畜禽粪便对耕地和水环境污染存在较大差异。2008~2009 年与 2001~2002 年相比污染状况有不同程度下降, 但其中 P 素污染比例有上升的趋势; 2008~2009 年畜禽粪便对耕地、水体造成双重污染的地区为合肥、宿州、蚌埠, 这些地区的环境问题应引起注意。

关键词: 畜禽粪便; 耕地负荷; 预警级别; 等标污染负荷; 污染评价

中图分类号: X713; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0110-07

Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province

SONG Da-ping¹, ZHUANG Da-fang², CHEN Wei¹

(1. College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Basing on the data of livestock in 2001-2009 in Anhui province, the farmland pollution loading and water equal standard pollution loading of livestock manure were calculated utilizing the discharge rate of livestock manure. In addition, the risk assessment was evaluated on the livestock pollution in farmland and water bodies in this province. The industrial production of animal manure of this industry in 2008-2009 in Anhui amounted to 0.67 billion tons, and the averaged farmland loading of livestock manure, N, and P were $16.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, $83.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and $34.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. The overall averaged risk constant of livestock manure loading in farmland was 0.36 (approximately risk level I). As to the water bodies, the averaged equal standard pollution loading was 7.03. However, significant differences were observed for the farmland and water contamination with livestock manure in different areas of Anhui, suggesting that some areas might receive much higher doses than the averaged amounts. The contamination weakened comparing with that in 2001-2002. But there was a trend of increase for P pollution. According to the information in 2008-2009, the farmland and water bodies in the areas of Hefei, Suzhou, and Bengbu still borne the livestock manure contamination. Results of this work provide some useful information for the water and farmland environmental protection in Huaihe river basin in Anhui province.

Key words: livestock manure; load of animal excretion per hectare of cropland; risk level; equal standard pollution loading; contamination assessment

近些年, 畜禽粪便污染作为农业面源污染的主要组成部分已成为世界普遍关注的问题。在我国, 由于受自然资源的约束, 畜禽产品生产的发展只能通过资源的强化使用来实现, 畜牧业生产出现集约化、集中化的趋势, 使诸如像安徽省等地部分大城市城郊出现了大批集约化畜牧场, 产生的畜禽粪便污染在一定的时空范围内没有足够的土地将其消纳, 很容易对土壤、水体和大气造成严重的污染^[1]。有研究表明, 畜禽粪便的运输距离是有限的, 畜禽粪便基本施用在养殖场附近, 局部区域施用的畜禽粪便量如果超出农田消纳容量, 将会造成水体和土壤的污染, 引发严重的环境问题^[2]。在我国 1 200 多条主要河流中, 有 850 多条不同程度地受到农业面源污染

的影响^[3]; 受污染的湖泊中农业面源污染负荷占总负荷的比例均在 50% 以上^[4]。

关于畜禽粪便对环境的影响, 国内外已经开展了许多工作。国外有学者认为, 畜禽粪便为水生生态系统中氮和磷污染的主要来源^[5]; 并提议政府制定有效的措施控制动物粪便产生过多的氮^[6]; 也有学者对养殖场的规模、养殖场与居民区水源地的距离做了大量基础研究^[7]。国内学者近几年针对畜禽粪便污染也进行了相关研究, 王晓燕等^[8]对北京市密

收稿日期: 2011-03-25; 修订日期: 2011-07-04

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAI19B03)

作者简介: 宋大平(1984~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为农业面源污染, E-mail: songping_361@163.com

* 通讯联系人, E-mail: chenwei@njau.edu.cn

云县和阎波杰等^[9]对北京大兴区畜禽粪便负荷量作了估算,并进行了风险评价;张绪美等^[10]对中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征进行了研究;王方浩等^[11]对中国畜禽粪便产生量估算及环境效应进行了研究。

目前的研究主要集中在对畜禽粪便的统计并单方面将污染物的量按农田面积分配,通过计算农田氮、磷负荷量来进行污染风险评价,很少见到关于畜禽粪便对区域耕地和水环境两者综合污染评价的报道。对于在区域内的畜禽粪便污染,不仅对附近耕地直接造成污染,同时污染物会随着降雨以及地表径流等因素大量流失到水环境中,从而在水体中产生诸如水华、蓝藻等水体污染,从而影响河流水质以至饮用水的质量。本研究旨在通过畜禽粪便污染物对耕地和水环境污染负荷量的计算,从而对畜禽粪便污染当地环境现状进行风险评价,以期对当地生态环境的保护提供理论依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据获取

本研究采用的数据来源于 2002 ~ 2010 年《安徽省统计年鉴》畜禽养殖量数据、耕地面积数据和水资源总量数据。2000 年 5 月,安徽省对某些地级市的管辖范围重新进行了划定,并正式划分出亳州作为独立的地级市。故将安徽省 2001 ~ 2009 年各地级市畜禽养殖量作为重点进行研究,提高数据的可靠性和可比性。

1.2 数据分析

1.2.1 各类畜禽粪便量及其猪粪当量的计算

本研究根据各种牲畜饲养周期选取不同的基础数据。在参考了国内近几年的研究^[9-14]并结合安徽省畜禽养殖的相关参数;在估算各种畜禽平均饲养期时,存栏头数的饲养期按全年(365d)计算;对于出栏量的饲养周期,家禽饲养周期分为肉禽 55d、蛋禽 11d,猪的饲养周期 199d。由于安徽省公布的统计数据未对畜禽种类加以细分(如牛可分为奶牛、黄牛等;猪可分为公猪、母猪以及肉猪等,家禽可分为蛋禽、肉禽等),所以本研究采用的各畜禽养殖量也未加以细分。饲养量统计:将牛的存栏量作为一年中稳定的饲养量;猪、家禽的饲养周期不足一年,所以将出栏量作为稳定的饲养量;安徽省 1988 ~ 2009 年,羊一年中的出栏和存栏量总体基本持平,1996 年后出栏量略多于存栏量,故将出栏量作为饲养量计算。在未考虑饲养周期的前提下,采用以下计算方

法:出/存栏量(头/只) × 日排泄系数($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$) × 365(d)。其中,各畜禽日排泄系数(以湿基为标准)采用国家环境保护总局公布的数据^[15](见表 1)。

表 1 各类畜禽粪便日排泄系数/ $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$
Table 1 Manure excretion coefficient of livestock and poultry manure/ $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$

项目	牛/头	猪/头	羊/只	家禽/只
粪	20.0	2.0	2.6	0.125
尿	10.0	3.3	—	—

根据以上方法计算安徽省各个地市的畜禽粪便量(包括粪、尿两部分,下同),再根据各类畜禽粪便的猪粪当量换算系数(以含氮量为标准)计算各类畜禽粪便量的猪粪当量(见表 2^[15,16])。

表 2 各类畜禽粪便猪粪当量换算系数
Table 2 Livestock manure and pig dung equivalent conversion coefficient

项目	猪粪	猪尿	牛粪	牛尿	家禽粪	羊粪
氮/%	0.70	0.33	0.45	0.80	1.37	0.80
换算系数	1.00	0.51	0.69	1.23	2.10	1.23

1.2.2 畜禽粪便养分含量系数

本研究在估算畜禽产生的粪便总量时采用的是畜禽直接排泄的新鲜粪便,因此在选用畜禽粪便养分含量系数时也仅选择新鲜粪便样品的养分含量(表 3)^[17]。

表 3 畜禽粪便中污染物平均含量/ $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$
Table 3 Pollutant concentrations of feces of livestock and poultry/ $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$

种类	COD	TP	TN	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N
牛粪	31.0	1.18	4.37	25.53	1.71
牛尿	6.0	0.40	8.00	4.00	3.47
猪粪	52.0	3.41	5.88	57.03	3.08
猪尿	9.0	0.52	3.30	5.00	1.43
羊粪	4.6	2.60	7.50	4.10	0.80
禽粪	45.7	5.80	10.40	38.90	2.80

1.3 畜禽粪便耕地负荷量的计算

目前,畜禽粪便处理的主要出路是作为有机肥料还田,国外许多发达国家也将农田作为畜禽粪便的负载场所加以消化其中的养分^[18,19]。由于不同类型的粪便,其肥效养分差异较大,故其农田消纳量也有较大差异。根据各类畜禽粪便的含氮量,将各种畜禽粪便统一换算成猪粪当量,然后叠加成猪粪总量^[20]。因此,以当年有效农田耕地面积作为实际的负载面积来计算安徽省畜禽粪便猪粪当量负荷。其计算公式为:

$$q = Q/S = \sum XT/S$$

式中, q 为畜禽粪便以猪粪当量计算的负荷量 [$t \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$]; Q 为各类畜禽粪便相当猪粪当量总量 ($t \cdot \text{a}^{-1}$); S 为有效耕地面积 (hm^2); X 为各类畜禽粪便量 ($t \cdot \text{a}^{-1}$); T 为各类畜禽粪便换算成猪粪当量的换算系数.

1.4 畜禽粪便流失入水体负荷量的计算

畜禽粪尿堆放及清粪冲洗极易流失进入到水体中,但在不同地区、不同管理水平下畜禽粪尿的流失程度差异很大.据文献[21]1997年的研究,从全国来看,畜禽粪便污染物进入水体的流失率在2%~8%的范围内,液体排泄物则可能达到50%^[21],而上海市畜禽粪尿进入水体的流失率可达25%~30%^[21].有研究表明,市郊畜禽粪便的流失率为30%~40%^[22].安徽所处地区水系相对发达,近10年全省平均降雨在1000 mm左右,同时参考马林、闫铁柱和张绪美等的研究^[12-14],将安徽省畜禽粪尿进入水体流失率采用30%计算.

等标污染负荷^[23,24]是污染评价中经常使用的评价指标,它主要反映污染源本身潜在的污染水平,采用等标污染负荷法对污染物进行评价,用污染物的排放量除以环境中污染物的限量标准,把污染物的排放量转化为“把污染物全部稀释到评价标准所需的介质量”.计算结果不但反映了污染物在量上对环境的影响,也反映了污染物在质上对环境的影响.统一转化之后,使同一污染源所排放污染物之间、不同污染源之间在对环境的潜在影响上进行比较成为可能.

采用此方法对各种污染源的污染负荷进行评价,评价因子选为COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TN和TP.计算公式如下.

i 污染物的等标排放量为: $P_i = c_i / c_0$.

式中, P_i 为 i 污染物的等标排放量 (m^3), c_i 为 i 污染物流失量 ($t \cdot \text{a}^{-1}$), c_0 为污染物按GB 3838-2002 III类标准系列的阀浓度(COD为20 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, BOD₅为4 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, NH₄⁺-N为1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TN为1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP为0.2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

由于各市水资源总量的变化与丰水期、平水期和枯水期的影响关系密切,但水资源总量总是围绕一个范围波动,故将水资源总量数据取2001~2009年各地区水资源总量的平均值,这样能较好地反映各地区水资源总量的差异,同时也便于畜禽粪便产生的污染物对水体影响的比较.

文中其他计算公式:

某污染源污染物的流失量 = 流失率 × 该污染源

污染物的排放量

某地区污染物的扩散浓度 = 该地区污染源的排放量 / 该地区水资源总量

某地区污染的等标污染指数 = 该地区污染源的等标排放量 / 该地区水资源总量

2 结果与讨论

2.1 畜禽粪便的环境效应

2.1.1 畜禽粪便耕地负荷

畜禽养殖业产生的大量粪便主要是直接还田,所以把农田耕地面积作为畜禽粪便实际的负载面积.安徽省2000年5月对某些地级市的管辖范围重新进行了划定,并正式划分出亳州作为独立的地级市.对安徽省2001~2002年与2008~2009年畜禽粪便负荷求平均值,从而增加数据的准确性.经统计,2001~2002年安徽省各地畜禽粪便N当量在24.32~1785.86万t,折合当地耕地年N当量负荷量为9.99~34.46 $t \cdot \text{hm}^{-2}$,平均为22.68 $t \cdot \text{hm}^{-2}$,亳州、宿州、阜阳、淮南、黄山这5个地区超过了全省平均值;2008~2009年各地畜禽粪便N当量在25.61~958.74万t,折合当地耕地年N当量负荷量为10.08~27.66 $t \cdot \text{hm}^{-2}$,平均为16.20 $t \cdot \text{hm}^{-2}$,其中合肥、宿州、蚌埠、阜阳、六安、宣城、黄山这7个地区超过了全省平均值.以产粮区为例,在化肥习惯施用量为225 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 纯氮的基础上,猪粪当量以15~30 $t \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 为宜,最大施用量以45 $t \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 为上限,如表4所示本区畜禽粪便负荷量警报值平均分别为0.51和0.36,表明2001~2002年畜禽粪便负荷量总体处于II级水平,其中亳州处于III级预警级别,另有宿州、蚌埠、阜阳、淮南、滁州、六安、宣城、安庆和黄山这9个地区处于II级预警级别;2008~2009年畜禽粪便负荷量总体处于I级水平,但仍有合肥、宿州、蚌埠、宣城和黄山这5个地区处于II级预警级别,超出了农田的消纳能力,对周围环境构成一定威胁.

2.1.2 畜禽粪便纯氮、磷养分耕地负荷

单位耕地面积上畜禽粪便氮、磷营养元素的负荷反映了畜禽粪便对于耕地土壤的污染风险.朱兆良^[25]的研究表明,大面积化肥年施氮(N)量应该控制在150~180 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,超过这一水平就会引起环境污染.粪便年施氮量与土壤质地、肥力和气候等自然条件有关,综合考虑这些影响因素,欧盟的农业政策规定,粪肥年施氮(N)量的限量标准为170 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,超过这个极限值将会带来硝酸盐的淋

表4 畜禽粪便农田负荷风险指数和预警级别¹⁾

Table 4 Environmental risk value and risk level of manure load of farmland

地区	2001~2002年		2008~2009年	
	风险指数 r	预警级别	风险指数 r	预警级别
合肥	0.40	I	0.61	II
淮北	0.31	I	0.23	I
亳州	0.77	III	0.24	I
宿州	0.53	II	0.42	II
蚌埠	0.47	II	0.43	II
阜阳	0.68	II	0.37	I
淮南	0.60	II	0.31	I
滁州	0.43	II	0.32	I
六安	0.43	II	0.40	I
马鞍	0.28	I	0.27	I
巢湖	0.35	I	0.22	I
芜湖	0.29	I	0.30	I
宣城	0.42	II	0.52	II
铜陵	0.22	I	0.24	I
池州	0.34	I	0.28	I
安庆	0.42	II	0.36	I
黄山	0.56	II	0.51	II
平均	0.51	II	0.36	I

1) $r \leq 0.4$, 为 I 级, 无污染; $0.4 < r \leq 0.7$, 为 II 级, 稍有污染; $0.7 < r \leq 1.0$, 为 III 级, 有污染; $1.0 < r \leq 1.5$, 为 IV 级, 污染较严重; $r > 1.5$, 为 V 级, 污染严重^[20]

洗^[26]. 如表 5 所示, 2001~2002 年安徽省单位面积耕地负荷的畜禽粪便纯氮(N)养分的平均值是 $138.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 亳州、阜阳、淮南以及黄山这 4 个地区的耕地粪便 N 养分负荷超过 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中亳州和阜阳超过了欧盟限量标准 $170 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 2008~2009 年单位面积耕地负荷的畜禽粪便纯氮(N)养分的平均值是 $83.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 17 个地区均没有超过 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. 说明 2001~2002 年安徽省部分地区的畜禽粪便纯氮养分已经威胁到了耕地土壤环境, 近几年随着畜禽粪便纯氮养分总量的下降, 对环境的威胁有所降低.

磷素在农田中的移动性较差, 易累积在土壤中. 农田中过量的磷会通过土壤的淋洗而进入地表径流造成水体的富营养化. 土壤的粪便年施磷量不能超过 $35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[27], 过量会引起土壤磷的淋洗, 造成环境的污染. 2001~2002 年安徽耕地负荷的畜禽粪便纯磷(P)养分平均值为 $39.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 亳州以 $50.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 位居全省首位, 9 个地区的单位耕地面积负荷的粪便纯 P 养分超过了极限值 $35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 5). 2008~2009 年, 耕地负荷的畜禽粪便纯 P 养分平均值为 $34.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 合肥以 $66.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 居首位, 同时宣城以 $55.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 也超过了 2001~2002 年最高的亳州, 宿州、蚌埠、六安、黄

表5 各类畜禽粪便污染物耕地污染负荷/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ Table 5 TN, TP and COD carrying capacity of livestock manure on farmland/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

地区	2001~2002年			2008~2009年		
	TN	TP	COD	TN	TP	COD
合肥	105.2	36.7	478.1	140.5	66.5	714.2
淮北	85.5	25.3	299.2	59.2	23.9	205.8
亳州	215.6	50.9	805.6	58.1	21.7	228.7
宿州	145.1	41.1	486.0	104.3	39.2	376.9
蚌埠	128.8	34.5	500.0	96.5	38.2	436.3
阜阳	191.0	46.7	727.7	86.7	32.8	399.9
淮南	167.9	40.1	680.1	69.4	29.1	322.8
滁州	115.9	36.2	498.4	72.4	29.5	377.5
六安	115.4	37.7	504.6	92.4	38.7	453.8
马鞍	72.7	28.6	300.6	64.1	27.6	295.2
巢湖	88.2	33.1	397.6	48.6	22.7	253.8
芜湖	75.7	28.1	354.4	69.4	33.0	345.8
宣城	108.6	37.8	482.7	115.3	55.9	575.5
铜陵	57.9	20.1	266.9	55.5	26.3	283.9
池州	92.5	28.8	439.1	66.2	28.8	360.3
安庆	116.1	32.8	538.7	80.4	34.4	451.5
黄山	157.0	44.3	760.5	118.4	45.4	717.9
平均	138.1	39.0	552.7	83.8	34.5	390.4

山这 4 个地区粪便纯 P 养分也超过了极限值 $35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 说明了虽然近 2 年总体平均值低于 2001~2002 年的平均值, 但个别地区的粪便纯 P 养分升高幅度较大, 对当地的污染风险较大.

2.1.3 畜禽粪便养分污染水体负荷

据计算, 2001~2002 年安徽省畜禽粪便向水体排放污染物 TN、TP、COD、 BOD_5 、 NH_4^+ -N 共 159.8 万 t (表 6), 其中以 COD 和 BOD_5 为主, 分别占 43.9%

表6 畜禽粪便污染物流失量和扩散浓度

Table 6 Lost pollutant amount of animals feces and diffuse concentration

地区	2001~2002年		2008~2009年	
	流失量 /t	扩散浓度 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	流失量 /t	扩散浓度 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
合肥	85 567.8	36.65	105 332.9	45.12
淮北	28 461.5	29.69	20 345.3	21.22
亳州	274 457.1	82.49	80 038.8	24.06
宿州	172 202.8	49.88	131 273.5	38.02
蚌埠	99 053.8	39.27	86 157.8	34.15
阜阳	290 222.6	61.57	158 131.6	33.55
淮南	44 772.6	48.84	25 150.8	27.44
滁州	137 879.1	31.96	101 059.6	23.43
六安	150 066.5	14.92	132 754.7	13.20
马鞍	9 990.3	14.96	9 967.4	14.93
巢湖	75 745.2	17.94	49 373.1	11.69
芜湖	22 005.1	11.85	19 667.1	10.59
宣城	53 415.6	6.66	59 273.5	7.39
铜陵	4 391.0	7.37	4 490.4	7.54
池州	25 180.1	4.47	20 183.7	3.58
安庆	97 685.9	11.67	87 690.9	10.48
黄山	26 757.2	3.20	22 805.3	2.72
全省	1 597 854.3	22.72	1 113 696.6	15.84

和 38.0%, 各地区受畜禽粪便污染的程度差异较大, 其中亳州和阜阳污染程度最为严重, 扩散浓度分别达到 $82.49 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $61.57 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 另有宿州、淮南、蚌埠、合肥、滁州这 5 个地区的扩散浓度在 $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上, 最低的黄山只有 $3.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 2008~2009 年向水体排放污染物共 111.4 万 t, 与 2001~2002 年相似, COD 和 BOD_5 分别占 43.7%、39.4%, 污染程度严重的为合肥和宿州, 扩散浓度为 $45.12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $38.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 还有蚌埠、阜阳这 2 个地区在 $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上, 其他地区均在 $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下, 其中有宣城、铜陵、池州和黄山这 4 个地区的扩散浓度在 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下, 相对 2001~2002 年污染程度有下降的趋势。

根据上述参数和等标排放量的计算公式, 计算出各地区畜禽粪便污染源的等标排放量和等标污染指数, 2001~2002 年安徽省畜禽粪便污染源的等标排放量中 TP、TN 和 BOD_5 分别占总量的 36.7%、26.0% 和 22.6%, 2008~2009 年畜禽粪便污等标排

放量中 TP、TN 和 BOD_5 分别占总量的 43.5%、21.1% 和 22.2%, 说明安徽省畜禽粪便对水环境的污染主要是 TP, 其次是 BOD_5 和 TN 的污染, 并且 P 素污染的比例有上升的趋势。

从图 1 中可以看出, 各地区等标污染指数差异明显, 2001~2002 年、2008~2009 年安徽省平均等标污染指数分别为 9.58 和 7.03, 相比较 2008~2009 年比 2001~2002 年降低了 26.7%, 表明安徽省 2008~2009 年畜禽粪便对水体污染较 2001~2002 年有所好转, 其中亳州等标污染指数降低达 67.2%, 阜阳、巢湖、淮南和滁州这 4 个地区降低比例超过全省平均值, 其余地区等标污染指数变化差异不大; 但值得注意的是合肥、宣城和铜陵这 3 个地区等标污染指数反而增加, 说明这 3 个地区污染程度是增加的, 尤其是合肥的污染指数为 20.19 已经达到污染程度较高值, 其它 2 个地区虽然增加但污染指数比较低, 对水环境影响不明显。

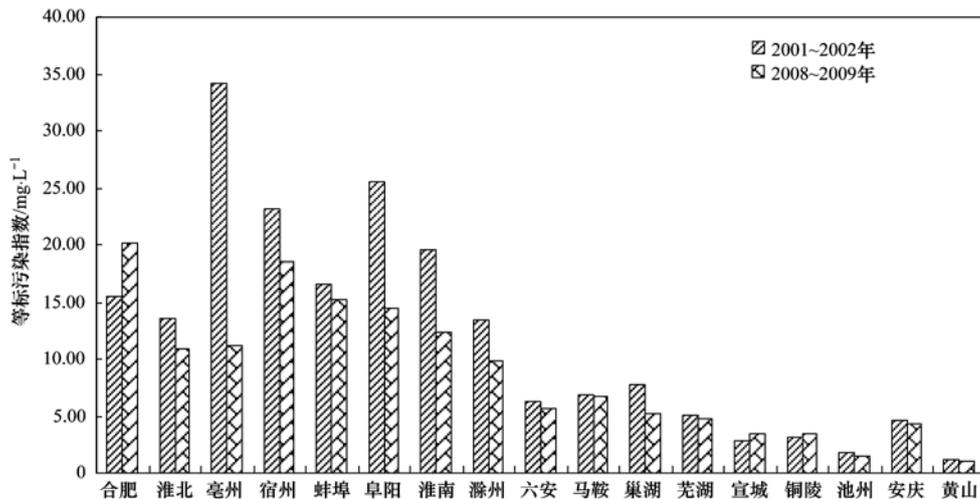


图 1 安徽省各地区畜禽粪便等标污染指数

Fig. 1 Equivalent standard pollution index of animals feces pollution in different regions of Anhui province

2.2 畜禽粪便综合环境评价

畜禽粪便耕地负荷采用沈根祥等^[20]研究得出: 2001~2002 年安徽省畜禽粪便耕地负荷Ⅲ级预警地区为亳州, Ⅱ级预警地区为宿州、蚌埠、阜阳、淮南、滁州、六安、宣城、安庆和黄山这 9 个地区; 2008~2009 年耕地负荷Ⅱ级预警地区为合肥、宿州、蚌埠、宣城和黄山这 5 个地区. 综合可见, 安徽省畜禽粪便耕地负荷总体处在 I~Ⅱ级预警级别范围, 单独从畜禽粪便猪当量污染负荷来看畜禽粪便对安徽省的污染风险水平较低, 但不能忽略个别地区已经

存在污染风险的可能.

分析单位耕地面积上畜禽粪便氮、磷营养元素的负荷得出: 2001~2002 年安徽省单位面积耕地负荷的畜禽粪便纯氮(N)养分处于风险水平(N养分负荷超过 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 以上的为亳州、阜阳、淮南以及黄山这 4 个地区, 合肥、宿州、滁州、蚌埠、六安、宣城和安庆这 7 个地区 N 养分负荷超过 $100 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 对环境存在潜在的风险较大; 2008~2009 年 17 个地区单位面积耕地负荷的畜禽粪便纯氮(N)养分负荷均没有超过 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 但合肥、黄

山、宿州、蚌埠和宣城这 5 个地区的 N 负荷超过 $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 在此把它们也列为对环境存在潜在风险的范围之内。2001 ~ 2002 年安徽耕地负荷的畜禽粪便纯磷(P)养分处于风险水平($35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)以上的为合肥、亳州、宿州、阜阳、淮南、滁州、六安、宣城和黄山这 9 个地区; 2008 ~ 2009 年 P 负荷处于风险水平之上的为合肥、宿州、蚌埠、六安、宣城和黄山这 6 个地区。对于畜禽粪便纯 N 污染风险说明 N 污染的风险开始减弱, 但个别地区 N 水平仍处于一个较高的水平, 值得人们注意。对畜禽粪便纯 P 的污染, 对比 2 个阶段的 P 负荷平均值均在风险水平以上, 说明 P 素对环境污染水平高于 N 素污染水平, 个别地区虽有下降, 但仍有部分地区的污染水平较高。

本研究涉及的污染物为 TN、TP、COD、 BOD_5 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, 参照《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中相应水质分级标准, 本研究中将等标污染指数划分为 5 个等级: 等标污染指数在 0 ~ 5 范围为 I 级, 对水体无污染风险; 5 ~ 10 范围为 II 级, 对环境稍有污染; 10 ~ 15 范围为 III 级, 对环境有污染; 15 ~ 20 范围为 IV 级, 对环境污染较严重; 20 以上为 V 级, 对环境污染严重。如图 1 可知, 2001 ~ 2002 年安徽省畜禽粪便对水体污染程度在 II 级及以上的为: II 级为巢湖、马鞍山、六安和芜湖, III 级为淮北、滁州, IV 级为合肥、蚌埠、淮南, V 级为亳州、宿州、阜阳。2008 ~ 2009 年: II 级为巢湖、马鞍山、六安和滁州, III 级为淮北、亳州、阜阳、淮南, IV 级为合肥、宿州、蚌埠。与耕地污染不同, 畜禽粪便对水体的污染还受当地水资源总量的影响以及污染物总量的影响, 总体水平略有下降, 但大部分地区污染仍处在一个较高的水平, 比如合肥的等标污染负荷没降反升。

3 结论

(1) 2008 ~ 2009 年与 2001 ~ 2002 年比较, 安徽省畜禽粪便耕地负荷从 0.50 处于 II 级预警级别下降为 0.36 处于 I 级预警级别, 纯 N、纯 P 耕地负荷量分别从 $138.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 下降到 $83.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; $39.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 下降到 $34.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 对水环境等标污染负荷指数从 9.58 下降到 7.03; 总体上污染程度呈下降趋势, 但各地区间存在较大的差异, 个别地区畜禽粪便已对耕地和水体造成较严重污染。

(2) 2008 ~ 2009 年畜禽粪便对耕地和水体均造成污染的地区已由 2001 ~ 2002 年的亳州、宿州、阜阳、淮南转变为合肥、宿州、蚌埠; 2008 ~ 2009 年相比 2001 ~ 2002 年, 畜禽污染物中 P 素对环境污染水

平有升高的趋势, 这些问题必须引起人们注意。

参考文献:

- [1] 刘滨疆, 满都拉, 徐纬. 集约化畜禽场的污染问题及防治措施选评 [J]. 畜牧工程, 2002, (3): 21-22.
- [2] 王新谋. 家畜粪便学 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1997.
- [3] 钱易, 刘昌明. 中国江河湖海防污减灾对策 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [4] 王凯军. 畜禽养殖污染防治技术与对策 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [5] Mallin M A, Cahoon L B. Industrialized animal production-a major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems [J]. Population and Environment, 2003, 24(5): 369-385.
- [6] Kuipers A, Mandersloot F, Zom R L G. An approach to nutrient management on dairy farms [J]. Journal of Animal Science, 1999, 77(Suppl. 2): 84-89.
- [7] Centner T J. Developing institutions to encourage the use of animal wastes as production inputs [J]. Agriculture and Human Values, 2004, 21(4): 367-375.
- [8] 王晓燕, 汪清平. 北京市密云县耕地畜禽粪便负荷估算及风险评价 [J]. 农村生态环境, 2005, 21(1): 30-34.
- [9] 阎波杰, 赵春江, 潘瑜春, 等. 大兴区农用地畜禽粪便氮负荷估算及污染风险评价 [J]. 环境科学, 2010, 31(2): 437-443.
- [10] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析 [J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1311-1318.
- [11] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应 [J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614-617.
- [12] 马林, 王方浩, 马文奇, 等. 中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 170-174.
- [13] 闫铁柱, 杜会英, 夏维, 等. 安徽省畜禽粪便污染现状及其防治对策 [J]. 农业环境与发展, 2009, 26(2): 58-62.
- [14] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 江苏省畜禽粪便污染现状与防治对策 [J]. 土壤, 2007, 39(5): 708-712.
- [15] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [16] 高定, 陈同斌, 刘斌, 等. 我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略 [J]. 地理研究, 2006, 25(2): 311-319.
- [17] 阎波杰, 赵春江, 潘瑜春, 等. 规模化养殖畜禽粪便量估算及环境影响研究 [J]. 中国环境科学, 2009, 29(7): 733-737.
- [18] Frank J D, Nico J P H. Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: The Dutch case [J]. Environmental and Resource Economics (Historical Archive), 1991, 1(3): 313-332.
- [19] Hoar B R, Atwill E R, Farver T B, et al. Estimating maximum possible environmental loading amounts of cryptosporidium parvum attributable to adult beef cattle [J]. Quantitative

- Microbiology, 2000, **2**(1): 21-36.
- [20] 沈根祥, 汪雅谷, 袁大伟. 上海市郊农田畜禽粪便负荷量及其警报与分级 [J]. 上海农业学报, 1994, **10**(增刊): 6-11.
- [21] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 [J]. 中国农业科学, 2004, **37**(7): 1008-1017.
- [22] 罗定. 农村养殖业污染触目惊心 [N]. 新民晚报, 2001-04-01(4).
- [23] 徐成汉. 等标污染负荷法在污染源评价中的应用 [J]. 长江工程职业技术学院学报, 2004, **21**(3): 23-24.
- [24] 孙亚梅, 钟定胜, 张宏伟, 等. 用单位产值等标污染负荷法评价区域工业污染源 [J]. 天津大学学报 (社会科学版), 2007, **9**(2): 144-147.
- [25] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. 土壤与环境, 2000, **9**(1): 1-6.
- [26] Anonymous. Code of good agricultural practice for the protection of water [M]. London, UK: MAFF Environment Matters, 1991.
- [27] Oenema O, Van Liere E, Plette S, *et al.* Environmental effects of manure policy options in the Netherlands [J]. Water Science and Technology, 2004, **49**(3): 101-108.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, YIN Jun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00 元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊