

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究	郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)
北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征	于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)
奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析	张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)
华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素	苏彬彬 (2519)
北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究	方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)
民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究	海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)
醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究	张凡, 王建海, 王小臣, 王建昕 (2539)
微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究	曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)
生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析	李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)
炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究	周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)
春季东、黄海溶解甲烷的分布和海气交换通量	曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)
千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究	董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)
新安江流域土地利用结构对水质的影响	曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)
长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析	孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)
河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性	杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)
水藻暴发的影响因素定量化研究初步	张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)
深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响	卢金锁, 胡亚潘 (2611)
结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度	周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)
Subwet 模型在人工湿地设计中的应用	李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)
白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应	何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)
苦草 (<i>Vallisneria spiralis</i>) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响	许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周峰 (2642)
铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究	汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)
铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究	杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)
不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响	赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)
邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H ₂ O ₂ 降解机制研究	刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)
二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd ²⁺ 离子的吸附研究	张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)
酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附	蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)
基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni ²⁺ 的吸附性能	张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)
树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐	王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)
Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究	朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)
化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究	王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)
镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究	陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)
HRT 对 A ² O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响	刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)
发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟	张超, 陈银广 (2741)
强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究	熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)
污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响	周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)
不同粒径铁铝泥对砷(Ⅲ)的吸附效果	林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)
我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析	仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)
浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离	徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)
三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响	张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)
吉林前郭水田土壤有机碳垂直分布规律和储量研究	汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)
关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例	张晓伟, 许明祥 (2793)
三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究	黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)
土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C 连续标记法	史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)
西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析	张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)
丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价	李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)
农药企业场地苯系物污染风险及调控对策	庞博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)
水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响	张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)
硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响	刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)
零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用	周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)
2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果	全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)
反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别	刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)
1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究	张倩, 王弘宇, 桑穗姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)
1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究	陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)
微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解	张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)
扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究	周际海, 孙向武, 胡锋, 李辉信 (2894)
固定化 <i>Lysinibacillus cresolovorans</i> 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解	李婷, 任源, 韦朝海 (2899)
生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析	黄翔峰, 张树聪, 彭开彰, 陆丽君, 刘佳 (2906)
A ² O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性	高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞薇, 白志辉 (2912)
生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究	李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)
专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)	

我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析

仇焕广¹, 廖绍攀^{1,2}, 井月¹, 栾江³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所农业政策研究中心, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 随着我国畜禽养殖业的快速发展, 畜禽生产所导致的粪便污染问题日趋严重, 甚至威胁到农业可持续发展. 本研究结合宏观统计数据 and 实地调研数据, 对我国总体和各省 2010 年畜禽粪便排放和污染情况进行了分析, 并通过中国农业可持续发展决策支持系统 (CHINAGRO) 对 2020 年我国总体和各省畜禽粪便排放和污染的发展趋势进行了预测分析. 结果表明, 2010 年我国畜禽粪便排放总量为 19.00 亿 t, 形成污染的畜禽粪便量为 2.27 亿 t, 平均每公顷耕地的畜禽粪便污染量为 1.86 t, 我国东南地区的广东、福建等省是畜禽粪便污染较重的区域. 模型预测结果表明, 如果不进行政策干预, 全国畜禽粪便总污染量将大幅增至 2020 年的 2.98 亿 t. 东部地区畜禽粪便污染将更为严重, 中部和西部地区污染程度相对较低且增幅低于东部地区. 建议通过税收和补贴等政策措施控制畜禽粪便的污染排放, 鼓励畜牧业生产向中西部地区转移.

关键词: 畜禽粪便; 环境污染; 区域布局; 模型预测; 政策建议

中图分类号: X52; X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2766-09

Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China

QIU Huan-guang¹, LIAO Shao-pan^{1,2}, JING Yue¹, LUAN Jiang³

(1. Center for Chinese Agricultural Policy, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The rapid development of livestock production in China has brought livestock manure pollution as a serious environment problem, even threatens China's agriculture sustainable development. On the basis of public statistical data and field research data, this paper analyzed the magnitude of livestock manure excretion and pollution of China and different provinces in 2010, and predicted development tendencies of livestock manure excretion and pollution in 2020 through the Decision Support System for China's Agricultural Sustainable Development (CHINAGRO). The result shows that total livestock manure excretion of China in 2010 is 1 900 million tons, and livestock manure pollution is 227 million tons, while per hectare arable land of livestock manure pollution is 1.86 tons. Provinces in the southeast China, such as Guangdong and Fujian, are areas with high pressure of livestock manure pollution. Model simulation shows that China's total amount of livestock manure pollution will increase to 298 million tons in 2020 without government intervention. The pressure of livestock manure pollution will become higher in most regions of China, especially in east and south regions. The situation in central and western region is better than that in east regions although the pollution pressure will also increase in those areas. Policy intervention such as taxes and subsidies should be adopted to reduce the discharge of livestock manure pollution, and encourage livestock production transfer from eastern areas to the central and western regions.

Key words: livestock manure; environmental pollution; regional distribution; model projection; policy implication

随着我国畜禽生产的快速增长, 畜禽粪便排放导致的环境污染问题日趋严重. 从 1996 年到 2010 年, 我国肉类总产量从 4 584.0 万 t 增长到 7 925.8 万 t, 奶类产量也从 735.8 万 t 增长到 3 748.0 万 t^[1]. Fischer 等^[2] 预测, 2005 ~ 2030 年, 我国猪、肉鸡等畜禽产品产量平均将增长 2.5 倍. 畜禽产品产量的快速增长也导致畜禽粪便排放大幅度增加. 20 世纪 80 年代, 我国畜禽粪便产生量为 6.9 亿 t, 到 2008 年已达到 30 亿 t^[3]. 2010 年《第一次全国污染源普查公报》显示, 畜禽养殖业的污染排放已经成为我国最重要的农业面源污染源之一; 畜禽养殖业排放

的化学需氧量 (COD) 达到 1 268.26 万 t, 占全国所有污染物排放的化学需氧量的 41.9%; 氮和磷污染的排放量分别为 102.48 万 t 和 16.04 万 t, 分别占全国所有污染物氮和磷排放总量的 21.7% 和 37.9%.

由于畜禽养殖数量的快速增长, 以及畜禽养殖结构变化、农业劳动力成本提高等因素影响, 我国畜禽

收稿日期: 2012-10-10; 修订日期: 2012-11-27

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71073154, 71173204); 优秀青年基金项目 (71222302)

作者简介: 仇焕广 (1976 ~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农业决策支持系统、农产品流通与贸易和农业资源与环境, E-mail: hgqiu.cc@igsrr.ac.cn

粪便污染状况加重恶化. 研究预测, 2020 年我国畜禽粪便排放量将会比 2007 年增加 37%^[4]. 已有研究表明, 在散户养殖方式下农户将畜禽养殖与种植业相结合, 畜禽粪便利用率较高; 而专业化养殖没有足够的配套耕地吸收其产生的畜禽粪便, 导致畜禽粪便的循环利用率下降^[5~7]. 我国畜禽养殖方式正逐渐从散养向专业化养殖转变. 1999~2010 年, 农户散养方式所提供的猪肉比例从 77% 下降到 35.5%, 同期散养肉鸡的比例也从 52% 降至 14.3%^[8]. 随着畜禽养殖业与种植业的逐步分离以及劳动力机会成本的上升, 畜禽粪便污染将进一步加重.

受畜禽产品需求的区域差异、运输和销售成本的因素影响, 畜禽养殖逐渐向东部发达地区和城郊区域集中, 加剧了畜禽粪便造成的环境威胁. 从养殖区域总体分布来看, 超过 70% 的畜禽养殖分布在东部地区及大城市的城郊^[5]. 为满足消费者对新鲜畜禽产品的需求, 同时降低运输和销售成本, 畜禽专业化养殖场在空间布局上日益向人口稠密的东部发达地区和城郊居民聚居点集中^[9]. 由于东部经济发达地区人口密集较大、耕地面积有限, 畜禽粪便还田受到很大制约, 增加了环境承载畜禽粪便的压力.

虽然国内一些学者已经对我国畜禽粪便污染排放展开了研究^[10~14], 但已有研究主要分析畜禽粪便的排放量而没有对其造成的环境污染状况进行评估; 对粪便的利用和过剩情况研究集中于技术层面, 缺少全国层面的统计研究. 我国的畜禽粪便排放和污染的实际情况到底如何? 畜禽粪便污染存在怎样的区域差异? 不同地域的畜禽粪便污染未来的发展趋势如何? 分析和回答这些问题对减少畜禽粪便污染、保护生态环境和推动我国农业可持续发展具有重要意义.

本研究的目的是通过对不同畜禽品种排放量和污染量的测定, 计算出全国和分省的畜禽粪便排放量和污染量, 分析散户和专业化养殖对粪便处理的不同方式以及对环境污染的程度, 并通过农业空间均衡模型系统分析和预测未来我国畜禽粪便污染在空间上的发展趋势和特点.

1 材料与方法

1.1 2010 年畜禽粪便排放量的计算方法和数据

本研究用于计算畜禽粪便排放量的计算公式如下:

$$LM = \sum_{i=1}^n Q_i \times T_i \times e_i \quad (1)$$

式中, LM(livestock manure) 为全国或各省的畜禽粪便排放量. Q_i 为第 i 类畜禽品种的出栏数量, T_i 为第 i 类畜禽品种的出栏天数, e_i 为第 i 类畜禽品种的每单位每天的粪便排放量. 2010 年全国及各省(市、自治区)主要畜禽品种的出栏数量 Q_i 来源于 2011 年《中国畜牧业统计年鉴》.

各类畜禽品种的出栏天数 T_i 按照如下公式计算:

$$T_i = 365 \times \frac{(H_{i,2009} + H_{i,2010})}{2Q_{i,2010}} \quad (2)$$

式中, $H_{i,2009}$ 为第 i 类畜禽品种 2009 年年底存栏量, $H_{i,2010}$ 为第 i 类畜禽品种 2010 年年底存栏量, $Q_{i,2010}$ 为第 i 类畜禽品种 2010 年出栏量. 各类畜禽品种的存栏量和出栏量数据均来自《中国畜牧业统计年鉴》.

式(1)中, 不同动物每单位每天的粪便排放量(e_i)由于没有标准的统计数据, 本研究通过收集大量相关研究结果, 用主要文献中不同动物每单位每天粪便排放量的平均值作为本研究的排放量参数.

1.2 2010 年畜禽粪便污染量的计算方法和数据

2010 年全国和各省畜禽粪便污染量的计算, 本研究通过式(1)中计算获得的畜禽粪便排放量乘以污染系数获得. 具体计算公式如下:

$$LMP = \sum_{i=1}^n Q_i \times T_i \times e_i \times p_i \quad (3)$$

式中, LMP(livestock manure pollution) 为全国或各省的畜禽粪便污染量. Q_i 、 T_i 、 e_i 的含义与式(1)相同. p_i 为第 i 类畜禽品种的粪便废弃率. 该系数通过本课题在全国 5 个有代表性的省份的实地调研数据获得. 由于散户饲养方式和专业化饲养方式下的畜禽粪便污染系数差异较大, 所以, 公式(3)进一步区分散养饲养和规模化饲养不同的畜禽粪便废弃率. 同时公式(3)中的畜禽出栏量 Q_i 也需要分解为散养方式下的出栏量 $Q_{i,h}$ 和专业化养殖方式下的出栏量 $Q_{i,s}$. 从实际情况来看, 不同养殖方式下的畜禽出栏天数 T_i 和每单位畜禽每天的粪便排放量 e_i 也会存在一定差异, 但要获得不同养殖方式下的 T_i 和 e_i 非常困难. 为简化计算, 本研究假设以上两个参数在不同养殖方式下相同, 即是根据公式(1)和(2)计算的全国平均的 T_i 和 e_i .

畜禽出栏量 Q_i 通过对国家统计局的统计数据进行调整后获得, 不同养殖方式下的畜禽产品出栏比例根据 2011 年《中国畜牧业统计年鉴》获得. 根据国家统计局的统计口径, 本研究假设生猪、肉牛、

羊、肉鸡专业化养殖规模标准为年出栏量分别大于 50 头、50 头、100 头、2 000 只,小于此规模为散养。奶牛和蛋鸡,由于其生长周期都大于 1 a,所以本研究假设奶牛专业化养殖标准为年存栏量达到 10 头(含)以上;蛋鸡专业化养殖标准为年存栏量达到 500 只(含)以上。

为获得第 i 类畜禽品种的粪便废弃率 p_i ,本研究在吉林、四川、浙江、安徽和河北这 5 个饲养业较发达的省份进行了大量实地调查。样本采用分层随机抽样的方式获得。在每个省内部,按农民人均纯收入高、中、低三类各随机抽取 1 个县;在每个县随机抽取 2 个乡,在每个乡随机抽取 3 个村,在每个村随机抽取 10 个农户(包括畜禽饲养农户和非饲养农户)进行调查。根据上述抽样原则,本次调查共选取了 5 个省、15 个县、30 个乡、87 个村的 601 个畜禽饲养农户。调查在 2010 年底进行,重点调查了样本农户和村 2010 年的相关情况以及 2010 年样本农户对畜禽粪便的处理方式,如作为肥料、沼气、饲料、扔掉等,本研究假设“扔掉”的比例即为畜禽粪便的污染率。

1.3 2020 年畜禽粪便排放和污染量的预测计算方法

根据公式(1)、(2)和(3),要计算 2020 年我国整体和各区域的畜禽粪便排放量和污染量,关键是预测 2020 年全国不同畜禽的散养方式出栏量 $Q_{i,n}$ 的变化和专业化养殖的出栏量 $Q_{i,s}$ 的变化,以及饲养天数 T_i 的变化。研究假设畜禽品种每单位每天的粪便排放量 e_i 不变。2020 年不同饲养方式下各类畜禽品种出栏量的变化以及饲养天数的变化根据中国农业可持续发展决策支持系统(CHINAGRO)模拟获得。各类畜禽产品出栏量的变化主要受未来畜禽产品消费需求的增长影响,出栏天数的变化主要由畜牧业生产方式转变(散养和专业化生产的比例)以及畜牧业技术进步率决定。

中国农业可持续发展决策支持系统(CHINAGRO 模型)是一个用于我国农业区域发展的多区域一般均衡模型。模型目标函数是使所有区域所有类型的消费者效用最大化,约束条件包括各区域所有产品市场出清、生产技术约束、贸易平衡约束、资源和劳动力约束等。该决策支持系统以农业为主,共包括小麦、玉米、甘蔗、猪肉、牛羊肉、禽肉、蛋类、奶类等 17 种主要农产品。模型将全国分为华北、东北、华东、华中、华南、西南、西北、青藏 8 个区域,每个区域内的城市 and 农村消费者按照收入水平各分为三类。

模型中农业生产的模拟具体到县级水平,生产者在生产技术、土地、劳动力等约束条件下,对农产品市场价格做出反应,实现利润最大化。模型充分考虑了自然资源条件约束、生产和消费的相互影响、种植业和畜牧业的相互联系、以及农业部门不同产品之间的相互影响,并且考虑了区域之间以及区域内部的贸易运输成本。模型中的畜牧业部门包括了猪、肉牛、奶牛、羊、其它大牲畜和家禽等主要畜禽产品,并且每类畜禽生产都区分了农户散养和专业化养殖两种方式。

2 2010 年我国畜禽粪便的排放与污染现状

2.1 2010 年全国及各省畜禽产量及养殖方式比例

本文将所有动物分为以下 7 类展开研究:猪、肉牛(包括役用牛)、奶牛、羊、其它大牲畜、家禽和兔。根据国家统计局的数据,2010 年全国猪、肉牛和羊的出栏量分别为 6.67 亿头、1.39 亿头和 2.81 亿只。奶牛和其它大牲畜的平均养殖期超过 1 年,采用存栏量作为当年的饲养数量,全国总计分别为 0.14 亿头和 0.16 亿头。家禽的出栏数量为 110.06 亿只。兔的出栏量为 4.65 亿只^[8]。我国猪和家禽的专业化养殖程度较高,肉牛、奶牛和羊的专业化饲养程度相对较低,各省区畜禽养殖结构差异明显。从全国来看,2010 年我国的猪、家禽、肉牛和羊的专业化饲养的比例分别为 64.5%、83.7%、23%、23%。

但是我国畜禽产品的生产数据和消费数据之间存在着较大缺口,有研究表明我国的畜禽生产数据存在着严重高估问题^[15-16],因此如果直接采用国家统计局的生产数据会高估我国的畜禽粪便污染排放。本研究综合已有的研究成果对我国畜禽生产数据进行了调整。

2010 年我国城镇人均的猪肉消费量为 20.73 kg,农村人均的猪肉消费量为 14.40 kg,我国猪肉总消费量为 2 355 万 t,在考虑进出口的情况下,2010 年我国不同畜禽产品生产数据比消费数据高出 89%~200%(表 1)。多数研究结果认为该缺口存在的原因:一是因为我国生产数据存在严重高估,二是因为消费数据存在严重低估,特别是消费数据中没有考虑居民在外饮食消费^[17]。Ma 等^[18]利用 1980~1999 的数据,研究认为我国猪肉生产数据高估 18%,消费数据低估 26%;而禽肉生产数据高估 33%,消费数据低估 27%。Fuller 等^[19]的研究认为我国肉类和禽蛋的消费数据分别被低估 30% 和

56%左右. 本研究主要参考以上的研究结果对生产和消费数据进行调整,调整后的生产数据见表 1 最后一列,即 2010 年的猪、肉牛、奶牛、羊、家禽的生产数据分别下调 30%、35%、40%、35%、25%.

对于其它大牲畜和兔的生产数据,考虑到缺乏可靠的依据进行调整并且这些动物产品产生的粪便数量所占比例不大,所以未进行调整. 对 2020 年的生产数据的预测也依据调整后的生产和消费数据模拟.

表 1 调整的我国畜禽产品生产和消费数据¹⁾

Table 1 Reconciling China's livestock production and consumption statistics								
类型	总产量 /万 t	城镇人均 消费量/kg	农村人均 消费量/kg	总消费数量 ²⁾ /万 t	净进口 ³⁾ /万 t	(生产-净进口) /消费	消费调整 /%	生产调整 /%
猪肉	5 071	20. 73	14. 40	2 355	60	2. 13	30	-30
牛羊肉	1 052	3. 78	1. 43	349	4	3	65	-35
奶类	3 748	13. 98	3. 55	1 175	328	2. 91	85	-40
禽肉	1 803	10. 21	4. 17	964	10	1. 86	25	-25
禽蛋	2 763	10. 00	5. 12	1 013	-10	2. 74	75	-25

1) 在消费数据的调整中,假设所有畜禽产品从生产到消费的流通过程中产生损耗率为 10%; 2) 根据 2011 年中国统计年鉴,我国 2010 年城镇人口为 6.70 亿人,农村人口为 6.71 亿人; 3) 畜禽产品进出口数据来自《2011 年中国农产品贸易发展报告》

2.2 排放系数和污染系数

畜禽粪便的排放系数受品种、体重、饲料组成等多种因素影响且各研究中使用的系数差异较大(表 2). 本研究采用的排放系数来自几个有

代表性的研究^[10,11,13,20,21]所采用的畜禽粪便排放系数的平均值. 同时本文根据出栏天数计算出每单位(头、只)畜禽整个生命周期的粪便排放量.

表 2 单位畜禽产品粪便排放系数/kg·d⁻¹

Table 2 Manure excretion coefficient of unit livestock product/kg·d ⁻¹								
类型	文献[10]	文献[11]	文献[13]	文献[20]	文献[21]	本研究	出栏天数/d	生命周期 排放量/kg
猪	10. 0	5. 3	5. 3	5. 1	4. 0	5. 9	256	1 520. 6
肉牛	35. 0	21. 1	30. 0	20. 8	22. 5	25. 9	365	9 446. 2
奶牛	—	53. 2	—	55. 2	60	56. 1	365	20 488. 7
羊	2. 6	2. 4	2. 6	1. 9	1. 7	2. 2	365	817. 6
其它大牲畜	15. 0	16. 2	—	22. 7	14. 3	13. 3	365	6 223. 3
家禽	0. 11	0. 14	0. 12	0. 11	0. 10	0. 11	177	19. 5
兔	0. 15	0. 46	0. 61	—	0. 15	0. 34	172	58. 9

表 3 是畜禽粪便的污染系数,即未经处理的畜禽粪便直接废弃的比例. 调研表明散养和专业化饲养的畜禽粪便污染系数存在较大差异,具体表现为养猪专业户的粪便污染系数高于散养户,而家禽养殖专业户的畜禽粪便污染系数却低于散养户. 肉牛和奶牛的畜禽粪便污染系数相同,即散养和专业化

方式下的污染系数分别为 8.2% 和 2.5%. 羊的粪便的废弃情况与家禽类似,都是专业化饲养的粪便污染系数低于散养户. 由于其它大牲畜不区分饲养方式,其污染系数取肉牛散养户和专业户污染系数的平均值. 兔产生粪便较少,且全国养兔规模相对较小,因此假设兔的粪便污染系数为 0%.

表 3 单位畜禽产品粪便污染系数¹⁾/%

Table 3 Manure pollution coefficients of unit livestock product/%							
类型	猪	肉牛	奶牛	羊	其它大牲畜	家禽	兔
散养	3. 5	8. 2	8. 2	22. 8	5. 3	31. 0	0. 0
专业化饲养	25. 3	2. 5	2. 5	2. 1	5. 3	14. 2	0. 0

1) 数据来源为作者实地调查数据

2.3 2010 年各省畜禽粪便排放和污染情况

表 4 是根据调整后的全国各省畜禽产量、出栏天数、不同养殖规模所占比例,排放系数、污染系数等计算的 2010 年我国畜禽粪便总排放量和总污染量. 考虑到目前对于畜禽粪便处理的主要方式是作

为肥料还田^[22,23],单位面积耕地的畜禽粪便负荷量可以反映该地区耕地承担畜禽粪便的水平,表 4 还计算了各省单位耕地面积的畜禽粪便污染量. 内蒙古、新疆、青海、西藏这 4 省区牛、羊和其它大牲畜主要采取草原放养方式,即使产生粪便对当地的耕地造成

污染也较少,而本研究主要关注耕地的畜禽粪便负荷量,因此表 4 的相关数据未计入以上 4 省区牛、羊和其它大牲畜的造成的畜禽粪便污染.

在不考虑内蒙古、新疆、青海、西藏这 4 省区牛、羊和其它大牲畜的粪便排放量的情况下,2010 年全国畜禽粪便总排放量为 19.00 亿 t,如果包括上述 4 省区牛、羊和其它大牲畜的粪便排放量,则总排放量为 22.26 亿 t.

从全国总体来看,我国畜禽粪便污染情况比较严峻. 2010 年全国畜禽粪便总污染量达到 2.27 亿 t. 就污染总量来看,畜禽粪便污染最严重的 3 个省份分别是河南、四川、山东,上述 3 省的污染量占全国总污染量的 28%. 在污染量超过 0.1 亿 t 的 10 个省份中,除四川、云南、广西外,其它基本集中于东部地区和东北地区. 西藏、青海、宁夏、新疆由于畜禽养殖业欠发达,畜禽粪便污染程度相对较轻.

畜禽粪便的污染情况不仅取决于污染总量,更重要的是单位耕地面积的畜禽粪便污染量. 耕地面积较小的省份,即使畜禽粪便排放总量少,其单位耕地面积的畜禽粪便污染量仍然可能很大,如浙江省虽然畜禽粪便污染总量仅为 0.05 亿 t,但由于其耕地面积小,其单位耕地面积的畜禽粪便污染量高达 $2.72\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$. 表 4 显示,一共有 16 个省的畜禽粪便单位污染量超过全国 $1.86\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的平均值,其中北京、广东和福建是环境压力最大的 3 个省(市),单位污染量分别为 5.07、4.64 和 $4.08\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,均超过全国平均值的 100% 以上. 总体来看,经济发展水平较高和人口密度较大的东部地区,畜禽饲养也较为发达,单位耕地面积的畜禽粪便污染也越严重. 畜禽养殖向人口密集、土地资源短缺的东部各省份聚集,不仅加重了环境污染,也增加了畜禽粪便污染对食品 and 人体健康影响的风险^[24].

表 4 2010 年各省畜禽粪便排放和污染情况¹⁾

Table 4 Excretion and pollution of livestock manure in different provinces in 2010

位置	总排放量 $\times 10^9/\text{t}$	总污染量 $\times 10^9/\text{t}$	耕地面积 $\times 10^4/\text{hm}^2$	单位耕地污染量 $/\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$
全国	19.00	2.27	12 171.59	1.86
北京	0.09	0.01	23.17	5.07
天津	0.09	0.01	44.11	2.81
河北	1.19	0.13	631.73	2.04
山西	0.25	0.03	405.58	0.71
内蒙古	0.11	0.02	714.72	0.22
辽宁	0.95	0.11	408.53	2.63
吉林	0.76	0.07	553.46	1.33
黑龙江	0.92	0.08	1 183.01	0.68
上海	0.05	0.01	24.40	3.33
江苏	0.52	0.08	476.38	1.70
浙江	0.27	0.05	192.09	2.72
安徽	0.60	0.09	573.02	1.53
福建	0.32	0.05	133.01	4.08
江西	0.62	0.09	282.71	3.31
山东	1.52	0.19	751.53	2.47
河南	1.88	0.23	792.64	2.94
湖北	0.78	0.11	466.41	2.28
湖南	1.07	0.15	378.94	3.91
广东	0.74	0.13	283.07	4.64
广西	0.87	0.11	421.75	2.51
海南	0.15	0.02	72.75	2.56
重庆	0.38	0.04	223.59	1.84
四川	1.88	0.21	594.74	3.50
贵州	0.65	0.05	448.53	1.16
云南	1.14	0.10	607.21	1.64
西藏	0.00	0.00	36.16	0.03
陕西	0.34	0.04	405.03	1.02
甘肃	0.65	0.06	465.88	1.30
青海	0.01	0.00	54.27	0.29
宁夏	0.16	0.01	110.71	1.20
新疆	0.04	0.01	412.46	0.17

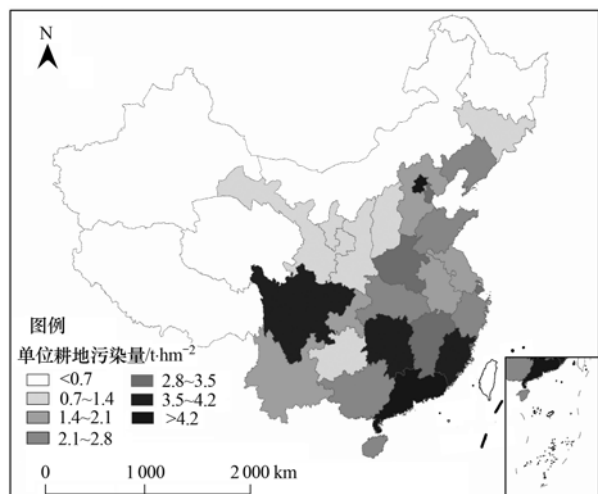
1) 数据来源为作者通过公式计算

3 2020 年畜禽粪便的排放与污染预测

3.1 2020 年全国及各省畜禽产量及养殖方式比例

模型预测表明,2020 年全国畜禽产量相比 2010 年都有较大幅度增长(图 1 和图 2)。分品种而言,猪、肉牛、奶牛、羊、家禽产量相比 2010 年大幅增加,增幅分别为 31%、30%、47%、34%、34%。从养殖数量来看,四川仍然是全国猪出栏量最多的省份,河南的肉牛出栏量位居第一,内蒙古的奶牛存栏量和羊出栏量都是全国最多,山东是家禽出栏量最多的省份。

在畜禽产量快速增长的同时,我国各畜禽品种的专业化饲养比例都有较大幅度增长。2020 年全国猪、奶牛和家禽的专业化饲养比例都超过 70%,肉牛和羊的专业化饲养比例也分别达到 37% 和 38%。虽然专业化饲养趋势明显,但各地区畜禽专业化养殖的程度依然存在较大差异。



未计入港澳台数据,下同

图 1 2010 年各省畜禽粪便单位耕地污染量

Fig. 1 Unit cropland load of livestock manure pollution in 2010

3.2 2020 年各省畜禽粪便排放和污染预测

本研究假设未来 10 a 各类畜禽品种的排放系数保持不变,并假设不同养殖户对畜禽粪便的处理方式不变,即污染系数(粪便废弃率)保持不变。本研究计算了 2020 年我国畜禽粪便总排放量和总污染量,并根据模型预测的 2020 年各省(市、自治区)的耕地面积,计算出畜禽粪便的单位耕地面积污染量。为保证结果的可比性,表 5 的相关数据依然未计入内蒙古、新疆、青海、西藏等 4 省区牛、羊和其它大牲畜的产生的畜禽粪便污染,即假设上述 4 省区的牛、羊和其它大牲畜的粪便排放被草地吸收。

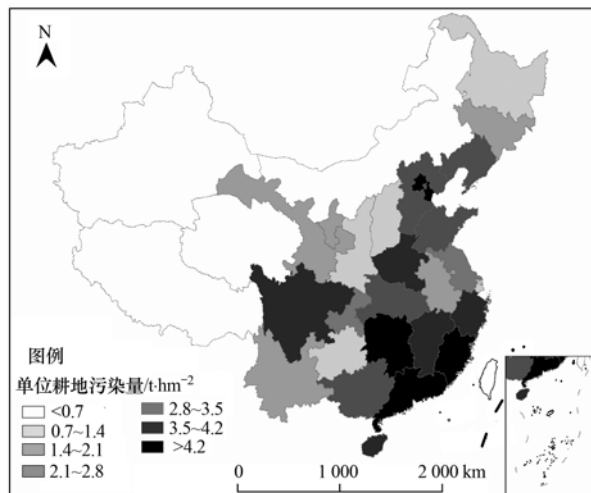


图 2 2020 年各省畜禽粪便单位耕地污染量

Fig. 2 Unit cropland load of livestock manure pollution in 2020

2020 年全国畜禽粪便总排放量为 24.10 亿 t, 相比 2010 年大幅上升 26.9%。随着畜禽养殖规模大幅扩张,畜禽粪便排放量增加明显。如果包括内蒙古、新疆、青海、西藏 4 省区牛、羊和其它大牲畜的粪便排放量,全国畜禽粪便总排放量为 29.13 亿 t。模型预测结果表明,除北京和上海等部分省份畜禽粪便排放量呈现小幅下降趋势外,其它省份的排放量都有不同幅度增长。北京和上海畜禽粪便排放量下降的主要原因是随着这些省份劳动力成本的提高和城市化水平的大幅提升,其猪和家禽等畜禽的养殖数量都大幅缩小,北京的猪产量下降 37%,家禽产量下降 41%;上海的猪产量下降 95%,家禽产量下降 93%。一共有 18 个省的畜禽粪便排放量增幅超过全国平均值,除新疆、宁夏、西藏、陕西外,其余省份均位于东中部地区,且东部共有 8 省(市)增幅超过全国平均值。相较而言,广西、重庆、四川、贵州、云南等西部省(市)的增幅均不到 20%,低于东部地区增幅。

随着畜禽养殖规模扩大、养殖结构转变和耕地面积的持续减少,全国总体畜禽粪便污染程度恶化。2020 年全国畜禽粪便总污染量为 2.98 亿 t, 相比 2010 年增长 31.2%,而总排放量相比 2010 年增长 26.9%,说明在畜禽生产增大的同时,由于生猪专业化养殖比例提高从而导致畜禽粪便的废弃率越来越高(表 3)。由于全国总耕地面积小幅下降,平均单位耕地面积的畜禽污染量增幅高于污染总量,相比 2010 年增加 32.7%,达 2.47 t·hm⁻²。需要说明的是,未来随着我国农村居民收入水平提高和劳动力

机会成本的增加, 畜禽粪便的废弃率很可能高于 2010 年的水平, 因此, 如果不采取应对措施减少畜禽粪便污染排放, 2020 年我国畜禽粪便污染的程度可能高于表 5 估计的结果.

表 5 显示, 除上海的单位污染量下降以外, 其余所有省份的单位污染量都在增加. 广东、福建、北京是全国畜禽粪便污染情况最严重的 3 个省(市), 2020 年单位耕地面积畜禽粪便污染量分别为 7.72、7.08 和 6.07 t·hm⁻². 分区域而言, 东部地区的单位面积耕地 畜禽粪便污染情况最严重, 为 3.60 t·hm⁻², 超过全国平均值 45.7%; 中部地区次之, 为

2.44 t·hm⁻²; 西部地区的污染程度最轻, 为 1.75 t·hm⁻². 在畜禽粪便单位耕地污染量高于全国平均值的 15 个省中, 广东、福建、天津、浙江、海南、河北等 6 省(市)的增幅均超过 40%, 而上述省市全部位于东部地区. 值得一提的是, 虽然北京的畜禽粪便总污染量降幅达到 27.5%, 但大幅减少的耕地面积使得北京的畜禽粪便单位耕地污染量仍然上升了 19.9% (图 3). 本研究结果表明, 如果不采取干预措施, 我国畜禽养殖未来将进一步向人口众多、耕地资源稀缺的东部地区聚集, 使这些地区畜禽粪便污染的程度进一步加剧.

表 5 2020 年各省畜禽粪便排放和污染情况及与 2010 年对比变化

Table 5 Excretion and pollution of livestock manure in different provinces in 2020 and the comparison with 2010

位置	预测结果				与 2010 年对比/%		
	总排放量 × 10 ⁹ /t	总污染量 × 10 ⁹ /t	耕地面积 × 10 ⁴ /hm ²	单位耕地污染量 /t·hm ⁻²	总排放量 变化率	总污染量 变化率	单位耕地污染 量变化率
全国	24.10	2.98	12 033.15	2.47	26.9	31.2	32.7
北京	0.08	0.01	14.01	6.07	-4.6	-27.5	19.9
天津	0.13	0.02	39.87	4.40	36.4	41.5	56.6
河北	1.64	0.18	630.38	2.87	38.2	40.1	40.4
山西	0.33	0.04	397.42	1.00	35.5	38.4	41.2
内蒙古	0.25	0.04	706.89	0.54	118.4	143.9	146.6
辽宁	1.14	0.13	405.56	3.23	19.8	22.3	23.2
吉林	0.98	0.09	565.08	1.67	29.0	28.2	25.5
黑龙江	1.30	0.13	1 180.37	1.10	41.5	59.9	60.2
上海	0.02	0.00	12.68	0.85	-61.0	-86.8	-74.6
江苏	0.69	0.11	463.83	2.37	32.5	35.4	39.1
浙江	0.39	0.07	178.17	4.18	41.0	42.4	53.5
安徽	0.79	0.12	569.23	2.06	30.7	33.7	34.6
福建	0.48	0.09	123.09	7.08	53.7	60.5	73.4
江西	0.74	0.12	281.99	4.09	19.5	23.3	23.6
山东	1.95	0.23	749.34	3.04	28.4	22.7	23.1
河南	2.52	0.30	792.89	3.83	33.8	30.2	30.2
湖北	0.97	0.14	458.53	3.02	23.8	30.2	32.4
湖南	1.29	0.19	376.91	5.03	20.7	27.9	28.6
广东	1.05	0.19	246.54	7.72	41.5	45.0	66.5
广西	0.97	0.13	424.39	2.95	11.6	18.4	17.6
海南	0.20	0.03	70.43	4.01	37.5	51.9	56.9
重庆	0.44	0.05	223.02	2.23	15.6	20.6	20.9
四川	2.15	0.24	593.06	4.03	14.2	14.8	15.1
贵州	0.75	0.06	446.84	1.29	14.8	11.1	11.6
云南	1.34	0.12	599.51	2.03	18.0	21.7	23.3
西藏	0.00	0.00	35.98	0.06	35.9	61.9	62.7
陕西	0.44	0.05	416.09	1.23	29.7	23.6	20.4
甘肃	0.81	0.07	465.78	1.53	23.0	17.4	17.4
青海	0.02	0.00	54.02	0.39	21.9	35.5	36.1
宁夏	0.23	0.02	109.64	1.63	47.3	34.0	35.4
新疆	0.06	0.01	413.01	0.31	72.8	80.9	80.6

4 建议

(1) 促进畜禽粪便循环利用, 减少畜禽粪便污染排放. 未来随着我国畜禽产品需求的增长, 畜禽

产品产量及其导致的粪便排放将不可避免的增加, 因此必须采取相关激励政策, 增加畜禽粪便的循环利用, 减少畜禽粪便的环境污染排放. 畜禽粪便污染存在负外部性, 并且治理污染的成本很高, 养殖户

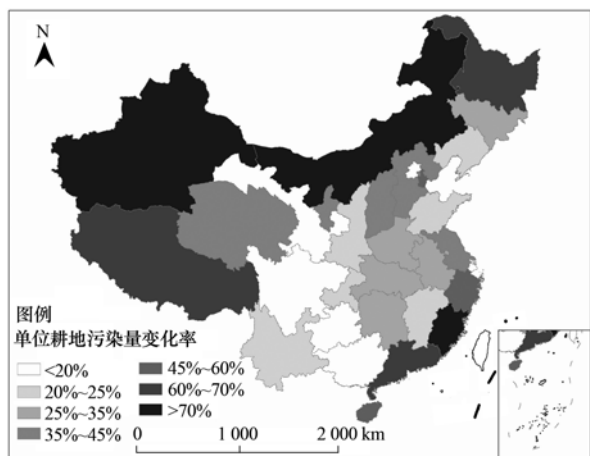


图3 单位耕地污染量变化率

Fig. 3 Change rate of unit cropland load of livestock manure pollution between 2010 and 2020

缺乏减少畜禽粪便污染的激励^[25]。因此,政府部门一方面可以对污染较重地区的畜禽养殖业征收环境税,提高其随意废弃畜禽粪便的成本,抑制不合理的畜禽养殖规模扩大;另一方面,政府应倡导畜禽粪便循环利用,拓宽畜禽粪便的使用途径。如对养殖户建立、维护沼气池提供补贴;制定鼓励生产和使用有机肥料的优惠政策,促进畜禽粪便以肥料形式还田。

(2)从经济利益和环境可持续发展两个方面协调畜禽产业的区域布局,鼓励畜牧业生产向中西部省份转移,控制东部省份的畜禽养殖数量和污染排放。此外,对于污染严重的小型分散式养殖场需严格管理其畜禽污染排放,对于新建的大型畜禽养殖场的选址应进行合理规划,避开人口密集区和生态环境脆弱区以及水源地,逐步调整不合理的畜牧业生产布局。

(3)完善畜禽养殖业的相关立法,有效监督畜禽专业化养殖户的排放污染行为。专业化畜禽生产是未来我国畜禽生产的主要方式,但是专业化养殖往往带来更多的环境污染^[26]。目前我国虽然制定了对较大畜禽养殖企业的粪便排放的规章制度,但执行力度还不够。另外,应重点加强对一些中小规模的畜禽养殖企业污染排放的监管,这些中小型畜禽养殖企业的数量较多且畜禽粪便废弃率往往显著高于散养户,对环境造成的污染非常严重。

5 结论

(1)我国目前畜禽粪便的排放造成的环境污染已经非常严重,2010年全国畜禽粪便总排放量为

19.00 亿 t,总污染量达到 2.27 亿 t,每公顷耕地面积的平均畜禽粪便污染量为 1.86 t。东部发达地区由于畜禽产量较高、耕地面积较少,畜禽粪便的污染压力较大。

(2)未来随着我国畜禽生产的迅速扩张和生产方式的转变,我国畜牧业生产所导致的粪便污染将更加严重。2020 年全国畜禽粪便总排放量将比 2010 年增长 26.9%,总污染量将比 2010 年增长 31.2%。单位耕地面积的畜禽粪便污染量比 2010 年增长 32.8%。

(3)从畜禽粪便污染的区域分布及其变化趋势来看,东部地区污染严重且程度逐渐加深,中部和西部地区污染程度相对较低且增幅低于东部地区。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011. 484-485.
- [2] Fischer G, Ermolieva T, Sun L X. Environmental pressure from intensification of livestock and crop production in China: plausible trends towards 2030[R]. Amsterdam: CATSEI, 2010. 1-29.
- [3] 孙铁珩, 宋雪英. 中国农业环境问题与对策[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(6): 646-652.
- [4] Fischer G, Ermolieva T, Ermoliev Y, et al. Livestock production planning under environmental risks and uncertainties[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2006, 15(4): 399-418.
- [5] 苏杨. 我国集约化畜禽养殖场污染治理障碍分析及对策[J]. 环境保护, 2005, (4): 28-30, 39.
- [6] 陈晓鸥, 贾永全, 王喜文. 规模化畜禽养殖污染现状及防治对策[J]. 中国畜牧兽医, 2007, 34(5): 137-138.
- [7] 黄季焜, 刘莹. 农村环境污染情况及影响因素分析——来自全国百村的实证分析[J]. 管理学报, 2010, 7(11): 1725-1729.
- [8] 中华人民共和国农业部. 中国畜牧业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000-2011.
- [9] 陈素华, 孙铁珩, 耿春女. 我国畜禽养殖业引致的环境问题及主要对策[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(5): 5-8.
- [10] 彭里, 王定勇. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 288-292.
- [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] 赵路, 魏静, 马林, 等. 河北省不同养殖模式的畜禽粪尿资源及污染风险分析[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 544-548.
- [13] 苏丁丁, 曾建国, 伍小松, 等. 湖南省畜禽养殖污染年排放量调查分析[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(1): 125-128.
- [14] 宋大平, 庄大方, 陈巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价[J]. 环境科学, 2012, 33(1): 110-116.
- [15] 钟甫宁. 关于肉类生产统计数字中的水分及其原因的分析

- [J]. 中国农村经济, 1997, (10): 63-66.
- [16] 卢锋. 我国若干农产品产销量数据不一致及产量统计失真问题[J]. 中国农村经济, 1998, (10): 47-53, 71.
- [17] 袁学国, 王济民, 韩青. 中国畜产品生产统计数据被高估了吗? ——来自中国六省的畜产品消费调查[J]. 中国农村经济, 2001, (1): 48-54.
- [18] Ma H Y, Huang J K, Rozelle S. Reassessing China's livestock statistics: an analysis of discrepancies and the creation of new data series[J]. *Economic Development and Cultural Change*, 2004, **52**(2): 445-473.
- [19] Fuller F, Hayes D, Smith D. Reconciling Chinese meat production and consumption data[J]. *Economic Development and Cultural Change*, 2000, **49**(1): 23-43.
- [20] ASAE D384. 2, Manure production and characteristics[S].
- [21] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报, 2007, **22**(1): 9-19.
- [22] 仇焕广, 莫海霞, 白军飞, 等. 中国农村畜禽粪便处理方式及其影响因素——基于五省调查数据的实证分析[J]. 中国农村经济, 2012, (3): 78-87.
- [23] 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.
- [24] 金东霞, 王凯军. 规模化畜禽养殖场污染防治综合对策[J]. 环境保护, 2002, (12): 18-29.
- [25] 彭新宇, 张陆彪. 畜禽业污染的经济学思考[J]. 中国禽业导刊, 2006, **23**(16): 8-9.
- [26] 徐伟朴, 陈同斌, 刘俊良, 等. 规模化畜禽养殖对环境的污染及防治策略[J]. 环境科学, 2004, **25**(6): 105-108.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophtic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qianguo, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《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)

2013年7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊