

张颂心. 环杭州湾城市群城郊畜牧业面源污染负荷及防治对策研究[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(13): 303–308.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.13.060

环杭州湾城市群城郊畜牧业面源污染负荷 及防治对策研究

张颂心

(台州职业技术学院, 浙江台州 318000)

摘要:环杭州湾城市群是我国城镇化水平最高的地区之一,城郊畜牧业集约化规模化水平较高,畜禽养殖面源污染问题引人注目。笔者以环杭州湾城市群涵盖的杭州、宁波等6市为例,结合发展现状和排泄系数,对畜禽养殖粪便废弃物和污染物总量进行测算。研究发现,2018年环杭州湾城市群全年排泄粪总量为427万t,生化需氧(BOD_5)排放量48.7万t,化学需氧(COD_{Cr})排放量53.4万t,氨氮(NH_3-N)排放量8万t;畜禽粪便猪粪当量负荷量在4.2~19.48 t/($hm^2 \cdot 年$)之间,养殖粪便负荷量均值大于0.3,超出农田自然消纳能力,需要采取有力措施治理畜禽污染。基于此,从现行政策制定、管理规划和环保技术等方面分析该区域城郊畜牧业畜禽养殖污染环境的原因,同时根据政府管理、资源化利用和循环经济原理,提出城郊畜牧业实现废弃物资源化、减量化、无害化发展的建议。

关键词:环杭州湾城市群;城郊畜牧业;规模化养殖;面源污染;污染指数

中图分类号: X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)13-0303-05

随着城镇化快速发展和人民生活水平的显著提升,城郊畜牧业成为现代农业发展的重要组织形式。但是在缓解城镇人口激增而带来的畜禽产品巨大供需矛盾的同时,城郊畜牧业由于长期规范化管理缺失、生态循环体系破坏、集约化规模化发展,对城郊环境及人身健康造成了诸多不利影响^[1-2]。20世纪60年代,日本学者用“畜产公害”高度概括这一问题;90年代,美国的Timothy提出以“农业绿色革命”应对畜牧业养殖环保问题的持续恶化^[3]。与此同时,城郊畜牧业养殖环境问题也成为发达国家和发展中国家政府的共同话题,并率先由欧美发达国家采取干预机制,通过政策法规和技术管理并举,实行规范化标准化绿色养殖。根据专家测算,饲养猪、牛、鸡个体,每年所产生的粪便污染负荷人口当量分别是8~10、30~40、5~7人。2018年我国出栏的猪4.28亿头、牛0.44亿头、羊3.1亿只、家禽130.89亿只,粪便废弃物和染物排放人口当量超过80亿人,约是我国人口生活污染负荷的3~4倍,而且在屠宰过程中还会产生相当可观的污

染物。

环杭州湾城市群是我国城镇经济最发达的地区之一,涵盖杭州、宁波2个副省级城市和绍兴、嘉兴、湖州及舟山4个地级市,面积占浙江全省的44%,城镇化率超过70%。改革开放以来,在政策引导、市场需求和科技进步叠加影响下,环杭州湾城市群城郊畜牧业取得长足发展,产量逐年递增,成为城郊经济发展的主要支柱和新增长点。但是随着城郊畜牧业产业化、集约化、规模化发展,畜牧养殖粪便废弃物和污染物逐年攀升,给生态环境带来巨大压力。近年来,随着《畜禽规模养殖污染防治条例》生效,城郊畜牧业污染防治工作开始进入法制化轨道,治理成效明显,然而城郊畜牧业养殖产生的粪便和污染物依然是该区域最大的有机污染源,已成为最引人注目的面源污染问题之一,严重威胁“美丽乡村”“美丽中国”建设。本研究以环杭州湾城市群范围内的6个城市为例,研究城郊集约化畜牧业养殖情况,在此基础上运用国家环保部门公布的排泄系数,对该区域城郊畜牧业粪便和污染物产生量、流失量进行测算,并从政策层面、机制层面、技术层面和管理层面出发,提出控源治污的对策建议。

收稿日期:2020-03-09

基金项目:浙江省社哲项目(编号:19NDJC393YBM);教育部人文社会科学研究项目(编号:18YJCZH245)。

作者简介:张颂心(1982—),女,浙江台州人,硕士,副教授,主要从事农业生态治理、高职教育研究。E-mail:1595829687@qq.com。

1 环杭州湾城市群城郊畜牧业养殖和污染物产生量

1.1 城郊畜牧业养殖情况

根据有关数据统计,2018 年环杭州湾城市群涵盖的 6 个城市共饲养生猪 682.51 万头、羊 139.48 万只、牛 4 万头、家禽 8 739.97 万羽(表 1),畜牧业产值 168.4 亿元、占农业总产值的 9%。环杭州湾城市群城郊畜牧业以大中型集约化养殖为主,产业化集约化规模化水平较高,2018 年有大中型养殖场突破 500 余家,出栏猪、牛、羊、蛋禽和肉禽数量占区域总量的 65% 以上。以杭州市为例,万头以上出栏规模猪场 32 个,占总出栏量的 60% 以上;年存栏万羽以上蛋禽养殖场 157 个,占总存栏量的 75% 以上;年出栏 5 万羽以上肉禽养殖场 30 多个,占总出栏量的 50% 以上;奶牛全覆盖实现规模化养殖,千头以上奶牛场 4 个。

表 1 2018 年的环杭州湾城市群畜禽养殖情况

地区	猪 (万头)	牛 (万头)	羊 (万只)	家禽 (万羽)
杭州	327.42	1.48	34.48	1 835.88
宁波	153.08	0.79	10.02	728.49
绍兴	140.54	0.71	9.00	966.86
嘉兴	34.20	0.10	51.28	2 656.50
湖州	19.03	0.99	33.41	2 510.26
舟山	8.24	0.03	1.29	41.98
总计	682.51	4.00	139.48	8 739.97

注:数据来源于《2019 年杭州统计年鉴》《2019 年宁波统计年鉴》《2019 年绍兴统计年鉴》《2019 年嘉兴统计年鉴》《2019 年湖州统计年鉴》《2019 年舟山统计年鉴》《2019 年浙江统计年鉴》《2019 年中国畜牧业年鉴》。

1.2 城郊畜牧业养殖粪便污染物排泄系数

城郊畜牧业畜禽养殖粪便排泄系数是指单个动物单日排粪量,与动物品种、性别、生长周期、天

气条件、喂养饲料等息息相关^[4-5]。根据国家环保部门主要畜禽排泄系数和有关研究^[6],参照日本农业公害手册,并结合环杭州湾城市群实际情况,对城郊畜牧业畜禽养殖单日粪便和污染物排泄系数进行修正,详见表 2。环杭州湾城市群生猪饲养周期为 175 d,肉禽 60 d,对年度粪便和污染物排泄系数进行修正,详见表 3。

表 2 城郊畜牧业养殖污染物每日排泄系数

畜禽种类	每日排泄系数(g/头或 g/只或 g/羽)				
	粪	尿	生化需氧 (BOD ₅)	化学需氧 (COD _{Cr})	氨氮 (NH ₃ -N)
生猪	2 110.0	2 850.0	201.0	259.0	36.9
牛	31 000.0	19 000.0	950.0	1 150.0	13.0
肉禽	147.0		13.2	10.0	1.9
蛋禽	80.0		6.5	4.7	0.8

表 3 城郊畜牧业养殖污染物每年排泄系数

畜禽种类	每年排泄系数(kg/头或 kg/只或 g/羽)				
	粪	尿	生化需氧	化学需氧	氨氮
生猪	368.25	498.75	35.18	45.33	6.46
牛	11 315.00	6 840.00	342.00	414.00	4.68
肉禽	8.82		0.79	0.60	0.11
蛋禽	29.20		2.34	1.69	0.29

1.3 城郊畜牧业养殖粪便和污染物数量测算

畜禽养殖粪便和污染物是畜牧业产业发展的重要问题,也是区域养殖过程中应该重点关注的环保问题。为便于测算,将不同种类、性别、生产周期的动物转换成已知排泄系数的动物,进行合理推算。根据城郊畜牧业养殖数量、粪便和污染物排泄系数,测算出区域城郊畜牧业畜禽养殖污染物年总量,详见表 4。可见,2018 年环杭州湾城市群全年排泄粪总量为 427 万 t,排泄尿液总量为 368 万 t,粪尿合计 795 万 t;生化需氧产生量为 48.7 万 t,化学需氧产生量为 53.4 万 t,氨氮产生量为 8 万 t。

表 4 环杭州湾城市群城郊畜牧业养殖粪便和污染物产生量

万 t

地区	养殖粪便产生量								污染物产生量		
	猪		牛		家禽	合计			BOD ₅	COD _{Cr}	NH ₃ -N
	粪	尿	粪	尿	粪	粪	尿	粪+尿			
杭州	120.6	163.3	20.4	10.1	26.3	167.3	173.4	340.7	16.1	17.2	2.7
宁波	56.4	76.3	8.9	4.9	10.5	75.8	81.2	157.0	8.0	9.3	1.2
绍兴	51.8	70.1	8.1	4.9	13.9	73.8	75.0	148.8	7.7	8.7	1.2
嘉兴	12.6	17.1	1.1	0.7	38.1	51.8	17.8	69.6	7.8	8.4	1.4
湖州	7.1	9.5	11.2	6.8	35.9	54.2	16.3	70.5	7.6	8.2	1.3
舟山	3.1	4.1	0.4	0.2	0.61	4.1	4.3	8.4	1.5	1.6	0.2

2 环杭州湾城市群城郊畜牧业养殖粪便污染物负荷

2.1 城郊畜牧业养殖粪便污染物负荷测算和养分流失

城郊畜牧业粪便和污染物通常以 2 种方式进入环境,一是养殖过程中以直排、渗入的方式进入水体,二是储藏、运输过程中以渗入或降雨等原因进入环境。研究表明,城郊畜牧业粪便和污染物流失率高达 30% 以上^[7]。按照 30% 计算,2018 年环杭州湾城市群城郊畜牧业粪便和污染物流失负荷量生化需氧(BOD₅)为 14.61 万 t,化学需氧为 16.06 万 t,氨氮为 2.4 万 t,粪尿总量为 282.63 万 t(表 5)。

按照畜牧业畜禽养殖粪便养分含量^[8-9],环杭州湾城市群畜牧养殖年全氮(TN)流失 3.13 万 t、五氧化二磷(P₂O₅)年流失量为 1.82 万 t、氧化钾(K₂O)年流失量为 3.29 万 t,分别占该区域年化肥使用量的 4.7%、9.8%、50.7%。

表 5 2018 年环杭州湾城市群城郊畜牧业粪便流失负荷

地区	万 t			
	BOD ₅	COD _{Cr}	NH ₃ -N	粪尿量
杭州	4.83	5.16	0.81	146.34
宁波	2.40	2.79	0.36	47.10
绍兴	2.31	2.61	0.36	44.64
嘉兴	2.34	2.52	0.42	20.88
湖州	2.28	2.46	0.39	21.15
舟山	0.45	0.48	0.06	2.52
合计	14.61	16.06	2.40	282.63

2.2 农田畜禽粪便负荷量分析

农田畜禽粪便负荷量很大程度上可以反映城郊畜牧业养殖密度、空间布局和规划建设合理性。各类畜禽粪便养分含量差别较大,为便于分析研究,根据全国污染普查公布的《畜禽养殖业源产排污系数手册》,以及中国农业科学院杨世琦、农业农村部重点实验室韩瑞芸、生态环境部环境规划院刘晨峰等的研究,将各类畜禽粪便转换为猪粪当量进行计算和分析^[10-11],详见表 6。环杭州湾城市群畜禽粪便猪粪当量负荷量在 4.20~19.48 t/(hm²·年)之间,平均量为 11.45 t/(hm²·年)。以杭州湾平原粮食生产区为例,在化肥施用量 200 kg/hm² 的基础上,猪粪当量以 1.1 万~2.8 万 t 为宜,最大施用量不超过 4 万 t,环杭州湾城市群畜牧业养殖粪便负荷量均值超过 0.3,已超出农田自然消纳能力,对周边生态环境

表 6 2018 年环杭州湾城市群畜禽粪便猪粪当量负荷量

地区	猪粪当量 (万 t)	耕地面积 (万 hm ²)	负荷量 [t/(hm ² ·年)]	警报值 (Q)
杭州	41.5	2.13	19.48	0.45
宁波	22.7	2.02	11.24	0.26
绍兴	22.1	1.32	16.74	0.38
嘉兴	9.2	2.19	4.20	0.21
湖州	7.8	1.53	5.10	0.23
舟山	3.1	0.26	11.92	0.28

注:警报值(Q)=城市畜禽养殖粪便负荷/最大适宜施用量。当 Q<0 时对环境没有威胁,在 0~0.3 之间时对环境有较少威胁,Q 为 0.3~0.6 时对环境有较大威胁,在 >0.6~1 之间时对环境很大威胁,在 >1~1.5 之间时对环境有严重威胁。

必然导致一定程度的负面影响^[12]。

2.3 畜牧业污染对水环境的影响

环杭州湾城市群以改善环境质量为核心,深入实施“五水共治”行动,水环境污染防治工作取得很大进展。但是由于农业、工业和生活污水和畜牧业粪便排放,整个环杭州湾城市群地表水受到污染并出现不同程度的质量型缺水,可供饮用的干净地表径流不多。而且时至今日,绿色养殖和废弃物资源循环系统仍没有全面建立,且大部分养殖临近江河湖海,直接排放或偷排不同程度存在,平原河网优于或达到Ⅲ类水质断面不足 40%,水体富营养化程度较高,甚至地下水也难以幸免。由于畜牧养殖规模化扩张,“污水零直排区”建设水平不高,雨污分流尚未实现全覆盖,畜禽废弃物处理设施建设滞后,先进处理技术推广不足,监督管理有所欠缺,城郊畜牧业养殖场成为城乡农业面源污染的重要来源。比如,仅宁波劣五类水质断面就有 9 个(占 11.25%),氨氮、总磷含量超标较为严重,其中慈溪周巷断面水质氨氮、总磷含量超标最多,分别超标 1 倍、6 倍以上。

3 城郊畜牧业养殖环境污染原因分析

城郊畜牧业养殖污染环境的原因是多方面的,概况起来主要体现在政策制定、实施过程、监督管理 3 个环节没有形成高效闭环。

3.1 政策制定存在滞后性

我国畜牧业发展历史悠久,是名副其实的畜禽产品生产大国,年产量占全球一半以上。然而,畜牧业养殖污染防治的立法工作进展缓慢,2013 年《畜禽规模养殖污染防治条例》和 2018 年国务院办

公厅印发的《加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》初步构建了目前畜牧业面源污染的法规体系,其他内容散见于各类法律法规,立法工作滞后于污染发展态势,长期处于被动立法,缺乏系统性、规范性。

同时,我国畜牧业布局地区差异明显,畜牧业种类繁多,地貌人文差距较大,畜牧业污染防治政策缺乏系统考虑。目前,在中央政府制定全国宏观标准和基本指标的基础上,省级政府和市(县、区)级政府未能很好地立足地域实际,制定细化实化的执行文件和操作规程,具体执行过程中缺乏必要的参考依据和行动指南。

3.2 实施管理机制不健全

一是多中心治理机制尚待健全。城郊畜牧业污染治理主体不仅包括政府,而且还涉及农业企业、养殖场(户)和其他社会组织、个体。

但是目前环杭州湾城市群畜牧业污染防治社会参与度低、政府职能存在缺位现象,尤其是社会资本在畜牧业养殖污染防治中的利用率较低,多元主体参与机制需要进一步健全。特别是畜牧业经营主体中很多规模以下养殖场和散养户受限于成本、利润、技术和政策,治理污染的主动性不强、能力不足。

二是运营管理和扶持体制不健全。一方面,污染排放交易制度法规体系、政策支持体系、操作规范体系还存在很多漏洞,很多好的治污方式方法还只是停留在理念上,具体操作和实施中利用有限,作用难以有效发挥。另一方面,政府财政扶持力度待强化。我国畜牧业养殖污染治理体系中,政府具有独特而难以替代的作用,特别是加上环境污染治理具有很强的公益性,政府需要承担更大的主体责任,强化政策、资金扶持力度。但是整体而言,环杭州湾城市群畜牧业政策支持力度有待进一步强化,环保设施投入历史欠账不少,激励方式方法比较单一,通常采取以奖代补、促治等方式进行,难以发挥主导作用,环保设施布局、更新、管理与发达国家还有很大差距。而且规模以上养殖场(户)才纳入政策支持体系,绝大部分规模以下及散养户无法纳入,参与生态养殖的主动性不强,“谁污染、谁治理”难以落实。

3.3 管理过程监督不力

目前,环杭州湾城市群城郊畜牧业在规模化集约化发展的同时,具有分散经营、小散户并存的特

征,养殖几乎遍布绝大多数市(县),甚至乡镇,空间布局加大了管理难度。加上乡镇没有设立专门的畜禽养殖保护机构和岗位,监督管理效果不佳。特别是规模小的流动养殖户,既无法享受政府扶持政策,环保意识又不强,给工作带来不少困难。同时,政府部门受制于编制、技术、设备和资金限制,更关注工业污染,而在城郊畜牧业污染防治中的投入较小,监督成效也大打折扣。即使政府职能部门作出排污强制处罚,多数小养殖场(户)也无力承担。

3.4 技术难以满足现实需要

目前,对于环杭州湾城市群城郊畜牧业而言,技术难以满足需要主要体现在:(1)技术的实用性和经济性不强。很多技术处理畜禽养殖污染的效率高、效果好、影响小,但是价格高昂,而城郊畜牧业利润较薄,养殖场(户)难以承受。也因为环保设施费用高,畜牧养殖主体存在偶尔使用以应付监督考核的情形,技术作用难以充分发挥。(2)处理技术单一、局限性大。例如粪便处理占有所有方式的2/3以上,且沼渣、沼液会破坏生态环境;“三分离一净化”能耗大、价格高、占地广,用地紧张的地区和收益不高的养殖经验主体难以利用。(3)新技术推广应用难度大。我国科技研发主体和技术推广主体存在错位现象,研发以高校科研院所为主,推广以政府主导、企业辅助为主,在实际操作中,技术从研发到投入使用所经历的环节多、时间长,在科技成果转化“最后一公里”上还需要进一步打通。

4 环杭州湾城市群城郊畜牧业污染治理对策建议

从畜牧业发展历史看,由于产业特质、管理优化和技术革新,城郊畜牧业发展对环境的破坏和危害可以减少到最低程度,可以通过政策、机制、执行和管理4个层面来实现畜牧业绿色持续发展。

4.1 政策方面:借鉴国外,构建法规体系

欧美发达国家和日本是畜牧业治污政策体系构建的先行者。例如,日本从20世纪50年代起,颁布了《水污染法》《家畜排泄物法》一系列法律文件,制定农业公害手册和畜牧养殖污染指标体系,同时研究出台了融资、税收、管理等配套政策,构建了一整套畜牧业污染防治规范体系。我国作为传统畜牧业大国,应主动学习先进国家和地区的经验做法,一方面加强立法研究,总结“十三五”以来浙江环保成绩教训,协调省提请全国人大制定符合国情的畜牧业污染防治上位法,作为地区政策制定、执

行实施的依据原则;另一方面,加强与中央和省市沟通,建立具体的配套操作规程和系列支撑政策,形成中央、省市、县、乡镇的政策体系,确保政策的可操作性和可行性(图1)。特别强调,在城郊畜牧

业治污环保基础设施建设、环保技术研发推广等方面,政府应加大投入,建立由中央、省和市县出资的资金池和社会资本参与辅助资金池,确保治污财力投入力度不减。

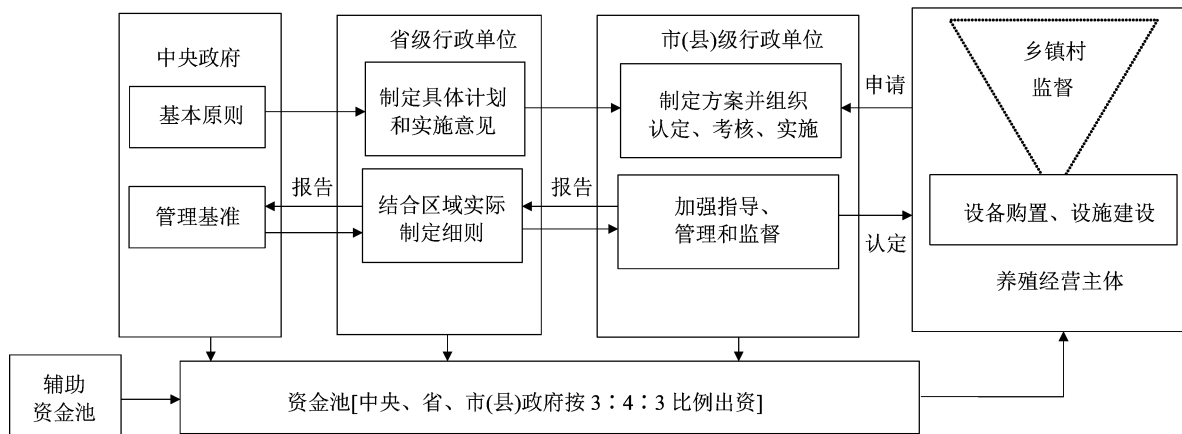


图1 畜牧业污染政策制定和执行体系

4.2 机制方面:共治共建,凝聚合力治污

畜禽养殖面源污染治理,仅仅靠政府难以有效实现目标任务,必须建立政府、行业协会、畜牧企业、养殖场(户)多方协同参与的体制机制。从政府角度而言,一方面应加强财政扶持力度,充分发挥政府财税、补贴等经济手段的扶持力度,在非营利性、利长远的环保基础设施上制定建设规划,形成环保基础设施的闭合,如畜禽养殖雨污分流建设、畜禽粪便处理设施、沼气与沼气利用工程等。另一方面,加强政策引导,按照投资者即受益者的原则,采取低利率贷款、财政补贴等市场化手段,引导社会资本和技术参与畜禽养殖污染治理。从企业而言,应严格按照政府法规,健全污染管理制度和技术设施,建设沼气发酵、生物发酵设施,确保养殖成本降低和“零直排”的双目标加快实现。从社会而言,社会大众应强化主体意识,主动加强管理,确保污染行为无处藏身。

同时,应从经营管理和产业发展前景上实现体制创新。一方面鼓励一体化经营,发展畜牧循环农业,利用“农牧”经营形式,发挥城郊畜牧发展区周边草、田资源优势,以自然消纳方式实现污染治理。另一方面支持“牧产”一体化发展,推动畜牧环保上下游产业实现补链强链,大力发展有机肥、无害化处理、沼气综合利用、环保咨询智库等市场主体,确保以完善的产业发展实现治污的持久有力。另外,建立畜牧排污管理和交易制度,利用行政手段和法律手段,强化违法排污惩处力度,同时建立以政府

为指导、市场为指引、社会为监督的交易规则,确保市场主体间形成以供需调节的价格为基础的交易体系。

4.3 技术方面:研发利用,提供技术保障

环保技术是畜牧业养殖面源污染治理的关键和保障。环杭州湾城市群应基于源头、截污、利用3个层面,加强畜牧业污染防治实用技术研发,特别是在专利申请、成果转化、知识产权保护等方面强化政策支持,激发研发主体活力。特别强调在技术研发中,应注重与地域养殖特色相结合,注重经济适用性,确保技术推广应用的可能性。同时,加强地方技术标准和规程建设,确保各项畜禽养殖和污染物处理都有政策法规依据,让治污资金易筹集、标准易把握、技术易推广、设施易维修。发挥畜牧技术推广机构作用,整合高效科研院所、农业科技企业、社会资本资源,完善以政府推广为主和市场导向为主的“双主导机制”,确保新技术新成果以最快速度转化为污染治理工具、形成污染治理成效。

4.4 管理方面:强化监督,延伸管理链条

按照畜牧业区域发展特点和排污要求,将畜牧业面源污染纳入常态化检测监管范围,建立排污检测观察点,确保管理链条不断。制定畜牧业发展负面清单制度,对严重污染环境的违法行为终身限制进入。同时,依据畜牧业发展类型,建立科学评价体系、环境监测体系,严格控制养殖场建设的空间布局;立足于现有畜牧管理和环保单位,完善政府环保监督管理机构体系和岗位设置,增设镇(街

赵家印,杨欣悦,席运官,等. 2种钝化剂对土壤重金属Cu、Cd有效性及植物累积的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):308-313.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.13.061

2种钝化剂对土壤重金属Cu、Cd有效性及植物累积的影响

赵家印¹,杨欣悦¹,席运官¹,高丽¹,和丽萍²,李丽娜²,杨涛明²

(1.生态环境部南京环境科学研究所,江苏南京210042;2.云南省环境科学研究院,云南昆明650000)

摘要:为比较碳酸钙、生石灰作为钝化剂对土壤改良的效果,通过盆栽试验开展了不同施加量的碳酸钙、生石灰对铜(Cu)和镉(Cd)污染土壤重金属有效态及植物富集影响的比较研究。研究表明:(1)碳酸钙、生石灰均能提高土壤pH值和降低土壤Cu和Cd有效性。(2)碳酸钙、生石灰均降低芥蓝Cd含量,其中以0.1%添加量的碳酸钙、0.072%的生石灰处理组Cd含量最低;但提高了芥蓝Cu的含量。(3)低剂量的碳酸钙、生石灰可提高芥蓝生物量,其中0.1%添加量的碳酸钙、0.06%的石灰最佳。但生石灰剂量继续增加,芥蓝生物量会降低。

关键词:钝化剂;生石灰;碳酸钙;重金属污染;土壤

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)13-0308-06

我国土壤重金属污染问题相当普遍。然而由于耕地资源紧缺,许多土壤重金属污染地区仍开展农业生产活动。重金属易随农产品进入食物链,致

使居民重金属暴露风险增加,威胁人类健康^[1-2]。据统计,中国每年有超过1 000万t的农产品重金属含量超标^[3]。因此,重金属污染农田修复与农产品安全问题备受关注。

添加钝化剂是目前重金属污染土壤修复的研究热点^[4]。常见的钝化材料主要有生石灰、钙镁磷肥、硅肥、海泡石、白云石和生物炭等^[5-8]。其中,生石灰的来源最为广泛,容易被获取,常用于重金属污染农田的修复^[5-9],但生石灰易于与水发生激烈化学反应,产生大量热能,杀死土壤微生物,甚至可

收稿日期:2019-08-22

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2014BAK19B01);有机农业-土壤-水质耦合的土壤修复关键技术与应用示范(编号:YNZDZB[2017]002)。

作者简介:赵家印(1990—),男,安徽宿州人,硕士,研究方向为重金属污染土壤修复。E-mail:zjyofrc@126.com。

通信作者:席运官,博士,研究员,主要研究方向为重金属污染土壤修复。E-mail:xyg@nies.org。

道)、村(社区)环保专岗,确保畜禽污染管理有人员支撑、有物资保障、有法规基础;提高社会环保意识,形成养殖经营主体自知自觉守规矩、社会大众齐心协力抓监督的机制。

参考文献:

- [1]翁伯琦,雷锦桂,江枝和,等.集约化畜牧业污染现状分析及资源化循环利用对策思考[J].农业环境科学学报,2010,29(增刊1):294-299.
- [2]张录强.我国农业生态系统营养循环链的断裂与重建[J].生态经济,2006(2):103-105.
- [3]曲萍,李萍萍.食用菌可持续农业生态系统分析研究[J].农机化研究,2005(3):87-88.
- [4]包维卿,刘继军,安捷,等.中国畜禽粪便资源量评估的排泄系数取值[J].中国农业大学学报,2018,23(5):1-14.
- [5]李丹阳,孙少泽,马若男,等.山西省畜禽粪污年产生量估算及环

境效应[J].农业资源与环境学报,2019,36(4):480-486.

- [6]黄红英,常志州,叶小梅,等.区域畜禽粪便产生量估算及其农田承载预警分析——以江苏为例[J].江苏农业学报,2013,29(4):777-783.
- [7]王平.南通市畜禽粪便排放量与农田负荷量分析[J].环境科学与工程,2016(5):134-137.
- [8]辽宁省农业科学院.农作物生产技术手册[M].沈阳:辽宁省科学技术出版社,1980.
- [9]杨飞,杨世琦,诸云强,等.中国近30年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J].农业工程学报,2013,29(5):1-11.
- [10]陈振楼,许世远,许启新,等.长江三角洲地表水环境污染规律及调控对策[J].长江流域资源与环境,2001,10(4):353-359.
- [11]杨世琦,韩瑞芸,刘晨峰.中国畜禽粪便磷的农田消纳量及承载负荷研究[J].中国农学通报,2016,32(32):111-116.
- [12]刘晓东,王秀斌,李书田.中国农田畜禽粪尿磷负荷量及环境风险分析[J].农业环境科学学报,2019,38(11):2594-2608.