

猪场清粪工艺模式的综合比较分析

黄峰, 史金才, 冯文谦, 邱锦麟, 练植婵, 杨奇亮, 廖新伟

引用本文:

黄峰, 史金才, 冯文谦, 等. 猪场清粪工艺模式的综合比较分析[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2330-2334.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1114>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

我国畜禽养殖氨排放特征及减排体系构建研究

王文林, 杜薇, 韩宇捷, 曹秉帅, 李文静, 童仪, 戴钰蕴, 刘波

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2305-2316 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1098>

猪场粪水施用对设施白菜及土壤重金属的影响

程娟, 刘沐衡, 肖能武, 杨柳, 杜会英, 杜连柱, 张克强

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2559-2567 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1030>

鸡粪生物炭对土壤铜和锌形态及植物吸收的影响

张艺腾, 范禹博, 徐笑天, 张秀芳, 李明堂

农业环境科学学报. 2018, 37(11): 2514-2521 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0390>

宁夏养鸡场粪污及周边土壤重金属和细菌群落特征研究

张俊华, 贾萍萍, 刘吉利, 孙媛, 尚天浩

农业环境科学学报. 2020, 39(8): 1692-1705 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0303>

水冲和节水农村公厕粪便资源化利用风险评估

蔡佳盛, 施教忠, 叶志隆, 李叶楠, UZMAShaheen, 陈少华

农业环境科学学报. 2021, 40(10): 2226-2235 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0340>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

黄峰, 史金才, 冯文谦, 等. 猪场清粪工艺模式的综合比较分析[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2330–2334.

HUANG F, SHI J C, FENG W Q, et al. Comparative analysis of manure cleaning techniques in pig farms[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2021, 40(11): 2330–2334.



开放科学 OSID

猪场清粪工艺模式的综合比较分析

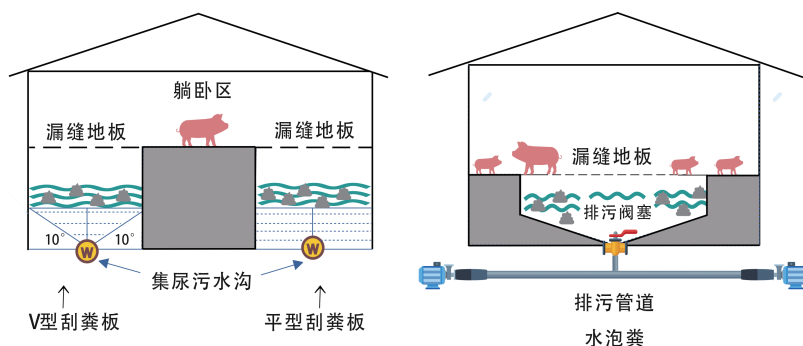
黄峰^{1,2}, 史金才³, 冯文谦³, 邱锦麟^{1,3}, 练植婵³, 杨奇亮³, 廖新倮^{1,2,3*}

(1. 华南农业大学动物科学学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学国家生猪种业工程技术研究中心, 广州 510642; 3. 温氏食品集团股份有限公司, 广东 云浮 527400)

摘要: 猪场清粪工艺不仅关系到用水、劳动和舍内环境, 更关系到后续粪污的产生、处理和利用。本文通过文献综述和生产调研的方式对不同猪场清粪方式进行分析总结, 包括常见的干清粪(人工、平刮、V刮)、水冲粪和水泡粪等, 从技术特点、粪污处理效果、应用场景和对新型污染物的影响等方面对不同清粪工艺进行综合比较, 并对清粪工艺的研究与应用进行了展望。

关键词: 猪场; 清粪工艺; 干清粪; 机械清粪; 水泡粪

中图分类号: X713 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2021)11-2330-05 doi:10.11654/jaes.2021-1114



Comparative analysis of manure cleaning techniques in pig farms

HUANG Feng^{1,2}, SHI Jincan³, FENG Wenqian³, QIU Jinlin^{1,3}, LIAN Zhichan³, YANG Qiliang³, LIAO Xindi^{1,2,3*}

(1. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. National Engineering Research Center for Breeding Swine Industry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Wens Foodstuff Group Company Limited, Yunfu 527400, China)

Abstract: The manure cleaning technique in pig farms not only affects water consumption, labor costs, and the environment in the pig house, but also affects the generation, treatment, and utilization of manure. This study summarizes different pig farm manure cleaning techniques through literature review and investigation, including common dry collection technology, water flushing, and water submerging. Among them, dry collection technology is divided into the manual and mechanical cleaning techniques (V-shaped and flat-shaped). A comprehensive comparison of different manure cleaning techniques was conducted based on technical characteristics, manure treatment effects, and effect on new pollutants, and prospects and suggestions for the research and application of manure cleaning techniques are suggested.

Keywords: pig farm; manure cleaning; manure cleaning by dry collection; mechanical cleaning technique; manure cleaning by water submerging

收稿日期: 2021-09-26 录用日期: 2021-10-12

作者简介: 黄峰(1990—), 男, 河南商丘人, 博士研究生, 主要从事家畜生态学研究。E-mail: fenghuang728@foxmail.com

*通信作者: 廖新倮 E-mail: xdliao@scau.edu.cn

随着生猪养殖业向集约化规模化迅速发展,产生了大量的粪便、废水等废弃物,这些废弃物如得不到有效处理,不仅威胁到周边生态安全,而且会制约养猪业的健康发展。清粪是猪场粪污收集处理过程的第一道工艺,不同清粪方式对源头节水、劳动效率、舍内环境质量、后续粪污处理工艺的选取、参数设计等均具有一定的影响,尤其是清粪工艺的选择,其直接关系到后端废水的处理成本和处理效果。猪场清粪工艺主要包括干清粪、水冲粪和水泡粪等^[1-2],其中干清粪分为人工干清粪和机械清粪。目前的机械清粪技术主要为平板刮粪和V型刮粪。不同的清粪工艺因具有各自的优缺点,而适用于不同类型和不同管理水平的猪场。因此,需要根据清粪工艺的技术特点、猪场的生产情况、配套土地及当地政策等因素,综合考量选择合理的清粪工艺。本文通过文献综述和生产调研的方式对现行主要清粪工艺的技术特点和应用情况进行综合比较分析,为今后清粪工艺的合理应用及技术研究提供参考。

1 主要清粪工艺的技术特点

1.1 平刮和V刮(机械清粪)

机械清粪工艺目前主要应用于我国南方地区的规模化猪场及北方地区个别环保要求较高、土地配套较少的规模化猪场,其中采用平刮最普遍。采用平刮的猪舍设置漏缝地板,地板下方设置粪沟,粪沟一端设置集粪池,粪便、尿液和管理用水等通过漏缝地板掉到粪沟,再通过机械拉动平形的刮粪板把粪污混合物收集到集粪池中,最后通过管道运输等方式进入到环保区进行处理。采用平板的猪场,所收集的粪便和污水会混合在一起,因此混合物中固形物(SS)和有机物(COD)含量较高。

V刮是将粪沟底部做成V形,并在V形粪沟的底部设置缝隙,缝隙下是污水管;粪便及污水从漏缝地板落到V形粪沟后,污水会通过缝隙流入下方污水管,最终汇流入废水处理系统,粪便则由V型刮板收集到集粪池中,最快实现粪便和污水的分离。与平刮相比,采用V刮所收集的粪便含水率相对低,污水的有机物浓度降低,均利于后续的进一步处理;然而,迄今V刮的现场施工仍然存在很大难度,施工质量要求高、成本高,因此生产中仍然较少采用,现行使用的故障率也明显比平刮高。

机械清粪(平刮、V刮)的优点是降低劳动强度,提高工作效率;缺点是需要设备投资,且有不同程度

的故障率。

1.2 水泡粪工艺

水泡粪工艺(液泡粪)是在猪舍漏缝地板下设置一定坡度的粪池,粪池注有一定深度的水,水池底部设置有带阀门的排污口,排污口连接排污管。粪便、尿液和冲洗水等通过漏缝地板进入粪池,通常在粪池中贮存1~6个月(一般一批猪排空一次),打开阀门,将粪污通过排污管引入污水收集池中,供资源化利用。水泡粪工艺主要应用于北方猪场及个别拥有足够土地配套条件的南方猪场。此外,部分猪场也根据自身生产实际选择水泡粪+机械清粪的模式,如在保育舍及分娩舍等相对管理要求较高的猪舍使用液泡粪工艺^[3-5],在育肥舍等使用机械清粪工艺。

水泡粪优点:与水冲粪工艺比较,节约用水;与人工清粪比,降低劳动强度、提高工作效率;与机械清粪比,运行更稳定、维护成本低,也减少清粪过程对动物的影响。水泡粪的缺点:舍内环控措施不配套的情况下,粪池产生的有害气体会影响动物健康^[6-7]。水泡粪工艺本应与后端资源化利用配套使用,然而长期以来,我国采用水泡粪只考虑其在生产端的优点,而忽略了后端粪污的出路,即没有同步进行资源化利用,而是采用了深度处理。采用液泡粪工艺时,长期混合的粪污会显著增加后端固形物和污水分离的难度,而且污染物浓度显著提高,采用深度处理会大幅增加污水处理的压力和代价,并且这种情况会随着泡粪时间延长而加剧,因此在生产上出现不得不将泡粪时间缩短的现象。

1.3 人工清粪与水冲粪

与机械清粪相同,人工清粪可以最快实现粪便与尿液、污水的有效分离,也可以更好地保留粪污中的养分,这一方面有利于后续的资源化利用^[8],另一方面可明显减少后端粪污处理的压力和成本。人工清粪具有诸多优点,包括节省用水、投资成本低、不存在设备故障、粪便和污水分离效果好、污水的污染物浓度低、产生的污泥少等,但由于人工清粪和收集后的粪污在舍内外转运的劳动强度大、效率低,在现行的规模化猪场中基本不推行,主要存在于中小规模的传统猪场。

水冲粪工艺是通过冲洗器放水将粪沟中的粪污冲入集粪池中,按生产情况设定每日的冲洗频率,再通过管道把粪污抽到环保区。水冲粪的优点:减少劳动力、提高生产效率;能及时清洗舍内粪污,改善猪舍环境。缺点是用水量大,一方面浪费水资源,另一方

面由于粪便污水混合大幅增加了后续污水处理的难度和成本。由于水资源的紧缺和环保压力的增加,水冲粪工艺已逐渐从规模化猪场中淘汰。

2 清粪工艺模式对粪污产生的影响

通过以上的总结可知,我国规模化猪场目前使用较多的清粪工艺主要有手工清粪、V型刮粪、平板刮粪和水泡粪,其中使用水泡粪工艺的猪场通常会配套消纳土地,粪污经无害化处理后还田利用,较少产生另外需要处理的固体粪污和废水。因此,本部分主要针对人工清粪、V型刮粪和平板刮粪工艺的粪污产生情况进行比较。

2.1 清粪工艺对固体粪污产生的影响

调研的112个规模化猪场的清粪情况中,31个猪场采用人工清粪,58个猪场采用平板刮粪,23个猪场采用V型刮粪。结果发现,V刮收集到的固体粪污量最大,达到 $18\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ (每存栏1万头母猪),其次为人工清粪,可收集到 $15\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,平板刮粪收集到的固体粪污量最少,仅有 $9\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,这说明V刮和人工清粪能够更好地收集固体粪便,即与V刮、人工清粪相比,平刮多出6~9 t的固体粪污进入废水处理系统,增加了后续废水的处理难度。就固体粪污的含水率来看,V刮收集到的固体粪污含水率为85%,平刮(经固液分离后)和人工清粪分别为80%和75%,可见在没有固液分离之前,平刮收集的固体粪污含水率最高,其次是V刮和人工清粪。较高含水率的固体粪污也会影响后续堆肥发酵及其他方式的处理利用^[9-10]。

调研的13个采用机械清粪+水泡粪工艺的猪场固体粪污收集情况中,3个猪场采用V刮+水泡粪的清粪工艺,10个猪场采用平刮+水泡粪的清粪工艺。结果发现,V刮+水泡粪工艺收集到的猪粪量为 $22\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ (每存栏1万头母猪),高于平刮+水泡粪工艺($8\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$)。调研结果同样说明V刮可以收集到更多的粪便,可以更好地保留粪便的养分且便于后续处理。除猪粪外,废水处理系统产生的污泥也是当前养猪场最难处理的固废。调研发现V刮+水泡粪工艺产生的污

泥量为 $6\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,明显低于猪粪产生量($22\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$),而平刮+水泡粪工艺所产生的污泥量高达 $18\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,远高于猪粪产生量($8\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$),这极大地增加了后续固废的处理利用难度。

2.2 清粪工艺对废水产生的影响

通过调研分析112个规模化猪场的废水产生情况(表1)发现,使用人工清粪的猪场废水产生量最高(先清后冲洗),达到 $700\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ (每存栏1万头母猪),其次为平刮和V刮。从猪场废水水质来看,人工清粪的废水污染物浓度低于平刮和V刮工艺的废水,采用平刮的废水 COD_{Cr} 、悬浮物、氨氮和总磷的浓度最高。对13个采用机械清粪+水泡粪工艺的猪场废水水质进行分析(表2)发现,V刮+水泡粪工艺产生的废水 COD_{Cr} 、氨氮和总磷浓度均低于平刮+水泡粪工艺的废水浓度,同样说明V刮的废水污染物含量低于平刮。在目前的清粪工艺中,人工清粪可最大程度地避免粪便进入污水,有效控制污水中有机物等浓度;平板刮粪将粪便和污水混合在一起,产生的废水有机物、氨氮、总磷等浓度最高。

3 清粪工艺模式对新型污染物的影响

更多研究关注的是猪场粪污中有机物、氮、磷、兽用抗生素和重金属等物质,并用以评价粪污的产生、处理及利用情况^[11-13]。但有研究也表明,粪污中还存在抗生素抗性基因和微塑料等一些新型污染物^[14-16],这些新型污染物同样影响着粪污的安全处理和利用,而且其会对周边生态环境和公共安全造成威胁,然而

表2 “机械+水泡粪”工艺废水水质情况(每存栏1万头母猪)

Table 2 The wastewater quality from the "mechanical + water submerging" process(per 10 000 sows)

工艺 Process	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	总磷 $\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
V刮+水泡粪 V-shaped+water submerging	10 457	1 034	287
平刮+水泡粪 Flat-shaped+water submerging	12 910	1 321	525

表1 废水产生量及污染物浓度(每存栏1万头母猪)

Table 1 Wastewater production(per 10 000 sows) and pollutant concentration

工艺 Process	产生量 Amount/ $(\text{t}\cdot\text{d}^{-1})$	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	悬浮物 $\text{SS}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	总磷 $\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
人工清粪 Manual cleaning	700	5 000~9 000	10 000~20 000	500~800	100~200
平板刮粪 Flat-shaped	550	12 000~25 000	50 000~80 000	1 500~2 200	250~400
V型刮粪 V-shaped	450	8 000~15 000	30 000~40 000	1 200~1 600	150~250

目前对粪污中新型污染物的重视还不够。为此,本文初步探讨了不同清粪工艺对抗生素抗性基因及微塑料等新型污染物的影响。

3.1 清粪工艺对抗生素抗性基因的影响

不同清粪工艺收集的粪污中有机物、氮和磷等成分的含量不同,从而使粪污的微生物组成有所差异,而功能微生物组成的差异进一步影响到粪污中物质的分解和粪污理化性质的差异。微生物群落和理化因子又是影响环境中抗生素抗性基因(ARGs)变化的重要因素^[17-18]。因此推断,不同清粪工艺会影响粪污中抗生素抗性基因的轮廓。YANG等^[19]对我国不同地区规模化猪场的废水处理系统进行研究,发现人工清粪工艺收集的废水中氨氮和有机物等的浓度显著低于机械清粪中的浓度,进而导致人工清粪工艺收集的猪场废水中噬菌体抗生素抗性基因的数量低于机械清粪工艺中的数量。这些由于清粪工艺不同导致粪便和废水中抗生素抗性基因残留的差异,会影响到后续粪污的处理和利用。如有研究表明,抗生素抗性基因与废水处理系统中氮转化过程相关基因具有显著的共现关系,并且氮转化相关性菌群是主要的抗生素抗性基因宿主^[20-21],虽然仍不明确抗生素抗性基因与氮转化之间的具体关系,但可以确定不同清粪工艺导致的废水中抗生素抗性基因的残留差异会进一步影响到废水脱氮处理。此外,不同清粪工艺导致的抗性基因残留差异会随着资源化利用进入到土壤和植物中^[22-23],进而威胁周边环境安全。然而目前关于不同清粪工艺对抗生素抗性基因影响的研究较少,其影响过程及机理还需要进一步的探明。

3.2 清粪工艺对微塑料的影响

2004年,THOMPSON等^[24]在海洋及其沉积物中发现了微塑料,并首次提出了微塑料的概念,即直径小于5 mm的塑料碎片及颗粒称为微塑料。微塑料与普通塑料的最大区别是微塑料较小的体积,使其具有更大的比表面积,可以吸附更多的污染物,如抗生素、抗生素抗性基因和重金属^[25-26],甚至病原微生物和耐药微生物也可以在微塑料上吸附累积。这些污染物在微塑料上形成污染源,进而造成更广泛的污染风险^[27]。WU等^[15]对中国19个养殖场进行调研,发现这些养殖场的畜禽粪污中含有大量的微塑料,这些微塑料来源于养殖过程中使用的塑料工具,包括人工清粪的塑料扫把和塑料清粪刮板。在清粪过程中,塑料扫把和塑料刮板中的微小塑料会掉入到粪污中,从而对粪污的处理利用造成影响。微塑料是一种新型污染

物,不同清粪工艺对微塑料污染的影响值得关注,需要探明清粪工具材质、清粪强度和频率等对微塑料的类型、形状、大小和数量等特征的影响,以及所产生的微塑料对粪污处理利用的影响,为清粪工艺流程的优化以及清粪设备的改良提供参考。

4 总结与展望

清粪工艺模式作为猪场粪污处理的第一道重要工艺环节,不仅关系到猪舍内粪污收集率、用水量、舍内环境、劳动效率、投资和维护成本,而且因不同工艺的技术特点,还会影响到粪污的产量、特性,同时还关系到后续粪污的处理及利用。因此不同的清粪工艺有不同的应用场景,清粪工艺应与管理水平、末端粪污治理方式相匹配。

随着猪场规模的发展及人工成本的增加,养猪业已逐步由传统养殖向机械化养殖转化,并逐步向智慧养殖的方向发展。目前,规模化猪场清粪工艺仍主要停留在机械化阶段,未来必然逐步向自动化、数字化和智能化方向发展,从而能更高效、及时地清理舍内粪污,同时可提供重要的粪污特性参数,便于后续处理利用参考以及保证猪舍内环境的清洁和从业人员的健康。因此,数字化、智能化清粪工艺的研发,是未来新型清粪工艺的研究方向。此外,粪污中残留的抗生素抗性基因和微塑料等新型污染物威胁着环境生态和公共健康,然而不同清粪工艺对这些新型污染物的影响仍不明确,值得更全面深入的研究。

参考文献:

- [1] 邓良伟, 王文国, 郑丹. 猪场废水处理利用技术理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2017. DENG L W, WANG W G, ZHENG D, et al. Theory and technology of pig farm wastewater treatment and utilization [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [2] 刘安芳, 阮蓉丹, 李厅厅, 等. 猪舍内粪污废弃物和有害气体减量化工程技术研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(15): 200-210. LIU A F, RUAN R D, LI T T, et al. Research progress of in-house reduce engineering technology for piggery manure wastes and poisonous gas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(15): 200-210.
- [3] ROLDAN-SANTIAGO P, MARTINEZ-RODRIGUEZ R, YANEZ-PIZANA A, et al. Stressor factors in the transport of weaned piglets: A review[J]. Veterinárni Medicína, 2013, 58(5): 241-251.
- [4] TALLING J C, WARAN N K, WATHES C M, et al. Behavioural and physiological responses of pigs to sound[J]. Applied Animal Behaviour Science, 1996, 48(3): 187-201.
- [5] LI X, ZHAO J N, ZHAO P, et al. Behavioural responses of piglets to different types of music[J]. Animal, 2019, 13(10): 2319-2326.

- [6] ROMAIN A, NICOLAS J, COBUT P, et al. Continuous odour measurement from fattening pig units[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 77: 935–942.
- [7] HAYES E T, CURRAN T P, DODD V A. Odour and ammonia emissions from intensive pig units in Ireland[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(7): 940–948.
- [8] BROCKMANN D, HANHOUN M, NÉGRI O, et al. Environmental assessment of nutrient recycling from biological pig slurry treatment: Impact of fertilizer substitution and field emissions[J]. *Bioresource Technology*, 2014, 163: 270–279.
- [9] TAKAHASHI S, IHARA H, KARASAWA T. Compost in pellet form and compost moisture content affect phosphorus fractions of soil and compost[J]. *Soil Science and Plant Nutrition (Tokyo)*, 2016, 62(4): 399–404.
- [10] LIANG C, DAS K C, MCCLENDON R W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend[J]. *Bioresour Technol*, 2003, 86(2): 131–137.
- [11] 李婧. 生猪养殖废水处理过程污染物迁移转化规律研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019. LI Q. Study on the law of contaminant migration and transformation of pig breeding wastewater treatment process[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.
- [12] 李国林. 规模化奶牛场产排污系数、污水存贮及土地消纳量相关技术参数研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014. LI G L. The related technology parameters' study of large-scale dairy farms pollutants producing and discharge coefficient, wastewater storage and amount of land given[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014.
- [13] 苏文幸. 生猪养殖业主要污染源产排污量核算体系研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2012. SU W X. Study on accounting system of the amount of pollutants producing and pollutants discharge in the main pollution sources of live pig farming industry[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2012.
- [14] 冯宇希, 冯乃宪, 陈昕, 等. 环境污染物与肠道菌群互作关系的研究进展[J]. *生态毒理学报*, 2020, 15(4): 99–111. FENG Y X, FENG N X, CHEN X, et al. Interaction between environmental pollutants and gut microbiota: A review[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2020, 15(4): 99–111.
- [15] WU R, CAI Y, CHEN Y, et al. Occurrence of microplastic in livestock and poultry manure in south China[J]. *Environmental Pollution*, 2021, 277(22): 116790.
- [16] 杨亦文, 米见对, 邹永德, 等. 广东省规模化猪场猪粪中典型耐药基因污染分析[J]. *中国兽医学报*, 2018, 38(8): 1559–1567. YANG Y W, MI J D, ZOU Y D, et al. Analysis of typical antibiotic resistance genes in the manure of large scale swine farms in Guangdong Province [J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2018, 38(8): 1559–1567.
- [17] WANG Z, HAN M, LI E, et al. Distribution of antibiotic resistance genes in an agriculturally disturbed lake in China: Their links with microbial communities, antibiotics, and water quality[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 393: 122426.
- [18] YANG Y W, CHEN N, SUN L, et al. Short-term cold stress can reduce the abundance of antibiotic resistance genes in the cecum and feces in a pig model[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 416: 125868.
- [19] YANG Y, XING S, CHEN Y, et al. Profiles of bacteria/phage-comeditated ARGs in pig farm wastewater treatment plants in China: Association with mobile genetic elements, bacterial communities and environmental factors[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 404: 124149.
- [20] YANG Y, WU R, HU J, et al. Dominant denitrifying bacteria are important hosts of antibiotic resistance genes in pig farm anoxic-oxic wastewater treatment processes[J]. *Environment International*, 2020, 143: 105897.
- [21] DANG C, LIU S, CHEN Q, et al. Response of microbial nitrogen transformation processes to antibiotic stress in a drinking water reservoir [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 797: 149119.
- [22] KANG Y, HAO Y, SHEN M, et al. Impacts of supplementing chemical fertilizers with organic fertilizers manufactured using pig manure as a substrate on the spread of tetracycline resistance genes in soil[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, 130: 279–288.
- [23] HUANG J, MI J, YAN Q, et al. Animal manures application increases the abundances of antibiotic resistance genes in soil-lettuce system associated with shared bacterial distributions[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 787: 147667.
- [24] THOMPSON R C, OLSEN Y, MITCHELL R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic?[J]. *Science*, 2004, 304(5672): 838.
- [25] GUO X, SUN X, CHEN Y, et al. Antibiotic resistance genes in biofilms on plastic wastes in an estuarine environment[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 745: 140916.
- [26] YANG Y, LIU G, SONG W, et al. Plastics in the marine environment are reservoirs for antibiotic and metal resistance genes[J]. *Environment International*, 2019, 123: 79–86.
- [27] ZARUS G M, MUIANGA C, HUNTER C M, et al. A review of data for quantifying human exposures to micro and nanoplastics and potential health risks[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 756: 144010.