

畜禽养殖污染防控技术研究进展

顾若婷*, 高馨馨, 唐春明, 朱联东#

武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年5月14日; 录用日期: 2022年6月20日; 发布日期: 2022年6月28日

摘要

近年来, 我国的畜禽养殖业发展迅速, 但在经济效益提升的同时, 畜禽养殖造成的污染严重地危害了生态环境。如何在确保现有畜禽养殖规模的前提下, 有效推进污染防控, 实现粪污资源的高效处置与资源化利用是保障农村地区经济社会可持续发展亟待解决的重大现实问题。本文针对我国畜禽养殖业污染现状及存在的问题, 从预防与治理两个角度对畜禽养殖污染的防控技术进行了综述, 通过对畜禽饲料以及养殖工艺进行改良可以从源头上减少对环境的污染。本文分析了目前常见的畜禽养殖粪污处理方法, 并从能源化、肥料化、饲料化三个方面阐述了畜禽养殖业固体废弃物的资源化利用方法, 旨在为畜禽养殖污染防控及资源化利用提供技术参考。

关键词

畜禽养殖, 污染防治, 资源化利用

Research Progress on Pollution Prevention and Control Technology of Livestock Breeding

Ruoting Gu*, Xinxin Gao, Chunming Tang, Liandong Zhu#

School of Resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan Hubei

Received: May 14th, 2022; accepted: Jun. 20th, 2022; published: Jun. 28th, 2022

Abstract

In recent years, China's livestock breeding industry has developed rapidly. With the improvement

*第一作者。

#通讯作者。

of economic benefits, the pollution caused by livestock poultry breeding has caused serious damage to the ecological environment. On the premise of ensuring the existing livestock poultry breeding scale, how to effectively promote pollution prevention and control and realize the efficient disposal and resource utilization of waste resources is a major practical problem that should be solved to ensure the sustainable economic and social development in rural areas. In view of the current situation and existing problems of livestock poultry pollution in China, this paper summarizes the treatment methods of livestock poultry pollution from two aspects of prevention and treatment. The improvement of livestock feed and breeding process can reduce the pollution to the environment from viewpoint of the source. In addition, this paper analyzes the currently common sewage treatment methods of livestock breeding, and expounds the resource utilization methods of solid waste of livestock breeding from three perspectives of energy, fertilizer and feed, aiming to provide a technical reference for pollution prevention and control as well as resource utilization of livestock breeding.

Keywords

Livestock Breeding, Pollution Prevention and Control, Resource Utilization

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近些年来,我国农村经济发展滞后,城乡收入差距大,养殖户片面追求低养殖成本带来的高收益,在养殖过程中不合理的农场规划及管理对环境带来的危害,使得我国面临着严重的畜禽养殖污染问题。根据2020年第二次全国污染源普查公报显示,农业源水污染物排放量为化学需氧量1067.13万吨,氨氮21.62万吨,总磷21.20万吨。其中畜禽养殖业的水污染排放量为化学需氧量1000.53万吨,氨氮11.09万吨,总磷11.97万吨[1]。由此可见,畜禽养殖业已然成为我国农业污染的主要来源。

国外对畜禽养殖业的污染早有认知,美国的畜禽养殖业具有高度规模化和机械化的特点,对养殖过程中产生的污染同时采用点源和非点源结合的方式进行分类管理。加拿大主要通过立法对畜禽养殖业的污染进行防治和管理,畜禽粪便污染的主要治理方法是利用土地消化,明确规定养殖过程产生的污水不得排放到河流中,以减少污水处理资金的投入。英国的畜牧业远离大城市,与农业生产紧密结合,经过处理后的畜禽粪便全部作为肥料,既避免了环境污染,又提高了土壤肥力[2]。

2. 我国畜禽养殖污染现状

一直以来我国畜禽养殖业呈现出快速发展的趋势,已经逐步形成小型散养、中型专业化以及大型规模化养殖的梯度模式,且未来将进一步向专业化、集约化方向发展,不断满足人民对优质畜禽产品的需求。然而,规模化养殖场增多的同时也带来了严重的环境污染问题,畜禽养殖业的污染已经成为农业污染的主要来源。水污染是畜禽养殖业污染中影响最大的一个方面,主要是由于未经处理的畜禽养殖粪污直接排放到河流、湖泊等水系中造成的环境恶化。畜禽排泄物会污染土地表面的水资源,然后渗透到土壤中使土地下面的水资源也会受到污染。畜禽排泄物除了随水流进入水体造成污染外,还会在微生物分解作用下产生有毒有害气体,如甲胺、硫化氢、粪臭素等。

畜禽养殖带来的污染问题具有量大面广、瞬时性强、构成复杂等特点,加上监管难度较大,其科学

防治与合理管控已成为当前我国环境领域的重大挑战[3]。因此，目前我国在推进畜禽养殖朝着集约化、专业化方向迈进的基础上，做好畜禽养殖污染防治工作，秉持污染废物无害化与资源化处理的原则，将可行性高的防治技术进行集成与结合，构建循环经济体系，是保障当下和未来社会可持续发展的重要举措(图 1)。

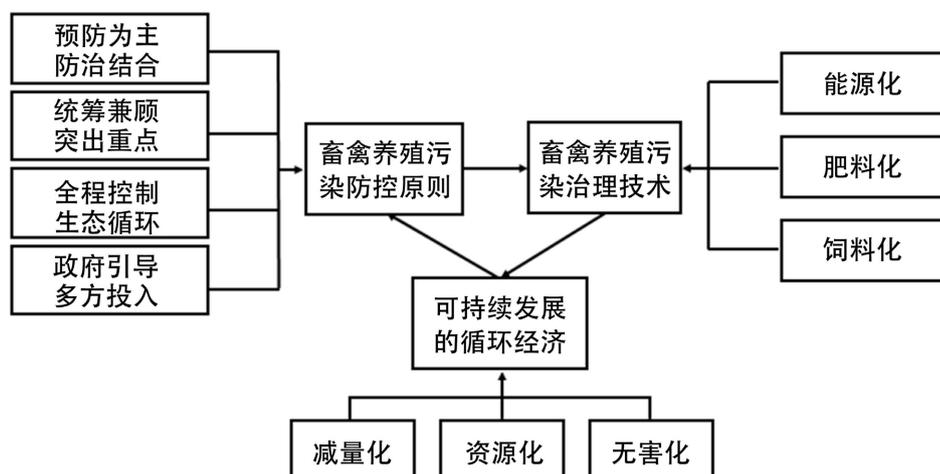


Figure 1. Route for pollution prevention and control of livestock and poultry breeding
图 1. 畜禽养殖污染防治路线

3. 畜禽养殖污染防治技术

3.1. 使用新型畜禽饲料

饲料是影响畜禽发育的主要因素，也是影响畜禽排泄物总量及成分的决定性因素，因此可以通过研制开发环保型饲料来践行可持续发展理念。目前，研发低重金属含量、除臭型、高转化率以及营养均衡型饲料是主要研究方向[4]。现阶段常使用的高铜、高锌饲料虽然可以促进畜禽的发育，降低养殖疾病发生的几率，但是长期使用会使畜禽粪污具有高重金属污染的特性，对环境造成严重的破坏。为了提升畜禽动物的消化效果，可以适当地添加微生物制剂，如利用作物的青枝绿叶、秸秆等发酵制成青贮饲料等，以达到提升营养价值与转化率的双重目的[5]。高环等[6]发现添加微生物制剂可不同程度提高生猪产量，降低腹泻率，并能提高粪中乳酸杆菌和双歧杆菌数量，降低大肠杆菌数量。营养均衡型饲料的研发方面，饲料中的蛋白质、矿物质等养分可通过添加适量氨基酸来促进物质平衡。同时，在猪、鸡饲料中合理应用多种酶制剂可以将不易消化的磷转变成有效磷，以减少畜禽粪便中磷物质的含量。对此，要重视低污染饲料的研发，使用新型饲料取代以往高污染饲料是今后畜禽养殖业可持续发展的趋势。

3.2. 养殖工艺改良

目前养殖工艺改良的主要方向包括用水改进、棚舍搭建改进、清粪工艺改进等方面。用水技术的改进包括优化供水、饮水方式，依据畜禽养殖的情况确定，计算出满足其生长所需要的供水量，进行配水情况的改进；同时，引入先进的供水设施，避免在养殖期间发生渗、漏、滴的情况，提升水资源的利用效率，减少废水体积。冲洗用水的改进，主要是在不同的条件下，依据畜禽排泄量、排泄频率的情况来控制冲洗用水的总量，以减少污染。清粪是畜禽养殖的重要环节，直接影响到生态与效益[7]。针对清粪工艺的改进，目前常用的是干清粪工艺。相较于水泡粪、水冲式工艺，干清粪一般采用分流制排水，粪便可与污水分离，污水集中处理，粪便高温发酵后可作为肥料使用[8]，因此更加清洁环保。通过将污染

物集中收集干燥,减少了污染,并且有利于对清理的粪便进行资源化利用。畜禽棚舍的改造,首先要对当地情况进行分析,科学合理的选择棚舍地址,然后借助相关的设备将养殖条件控制在合理范围之内。同时,应依据不同养殖的畜禽品种,选择合适的棚舍主体类型。例如微生物发酵床畜禽养殖场,既可以解决养殖效益问题,又可以及时处理产生的污染物[9]。此外,对养殖场地进行改造时要充分考虑粪便、污水排放等因素,以形成清洁、舒适、安全的养殖环境,从源头上尽可能的减少对环境造成的污染。

4. 畜禽养殖废水处理技术

在改良养殖工艺的基础上,对于未能消除的污染物,应当进行集中的收集处置。考虑到畜禽养殖过程的用水需求,如何将每个环节产生的废水进行收集处置是重中之重。在将干物质进行分离、贮存后,首要任务就是进行有效的污水处理。畜禽养殖水体污染已成为农业水体污染的最主要来源。畜禽养殖废水主要由洗涤用水、尿液、粪便和饲料残渣组成,具有高化学需氧量(COD)浓度、高氨氮浓度、高悬浮物(SS)浓度、高抗生素含量、高色度和具有恶臭气味等特点[9]。总的来看,畜禽养殖废水属于高浓度难降解的有机废水,污染成分复杂,处置不当会造成严重的污染。常见处理方法可以按照处理模式分为物化处理、生物处理和自然生态处理。

4.1. 物化处理

畜禽废水的物理和化学处理技术大致可分为介质吸附法,絮凝沉淀法、电化学法和高级氧化法[10]。介质吸附法是污水处理领域中常用的物理技术,该方法是利用比表面积大、孔隙结构发达的固体材料来吸附畜禽废水中的污染物,并把污染物截留在吸附剂表面。絮凝沉淀法是污水处理领域的传统技术,主要是利用絮凝剂的絮凝作用来实现污水的净化,常用铝盐和铁盐作絮凝剂,具有加工速度快,沉积效果好,易于加工等优点。电化学法对难生物降解的污染物和重金属具有良好去除效果,但对有机污染物的去除效果较差[11]。高级氧化技术又称作深度氧化技术,以产生具有强氧化能力的羟基自由基($\cdot\text{OH}$)为特点,在高温高压、电、声、光辐照、催化剂等反应条件下,使大分子难降解有机物氧化成低毒或无毒的小分子物质。唐国民等[12]采用臭氧/过硫酸盐法来预处理畜禽养殖废水,发现其对畜禽养殖废水中难降解有机物的降解效果很好。在臭氧投加量 28 mg/L,过硫酸钠投加量 45 mg/L,氧化时间 60 min 的条件下,COD 去除率高达 35.9%~40.6%。

4.2. 生物处理

畜禽养殖废水的生物处理技术主要分为厌氧生物法、好氧生物法和厌氧-好氧组合处理法以及微生物固定法。厌氧生物法具有建造费用低、运行成本低和占地面积小等特点,常用来处理高浓度的有机废水,厌氧生物处理畜禽养殖废水时,还能起到一定的杀菌作用,有助于养殖场的防疫工作,但是这种方法对于总氮、总磷的去除效果不够理想,需要与其他工艺进行组合,才能满足对出水水质的要求。相比较而言,好氧生物处理技术的效率较高,可以有效处理氮、磷以及臭气等,不过其建造和运行成本一般较高,用于处理中低浓度的养殖废水更为常见。厌氧-好氧组合处理法(图 2)结合了厌氧生物处理和好氧生物处理的优点,在保证处理效率的同时还可以控制成本,因此成为了处理畜禽养殖废水的热门研究方向[13]。

微生物固定法也是目前生物技术处理畜禽废水中的重要方法。活性炭可以附着微生物,通过借助微生物的分解作用对污染物进行降解。然而,活性炭造价较高,对养殖场来说经济负担较重。竹炭由于孔隙更大,吸附性能更好,造价更为低廉,因而具备更好的应用前景。将有益的降解污染物的微生物负载于竹炭上,用来处理养殖废水,或者再结合其他类型的吸附剂制备成复合吸附剂,将产生更好的处理效果[14]。同时,应用固定化技术,采用包埋等方式将微生物制成小球,其处理效果明显优于传统的活性污泥体系,但是目前关于固定化微生物处理畜禽养殖废水的应用实例较少,仍然有待于进一步的发展。

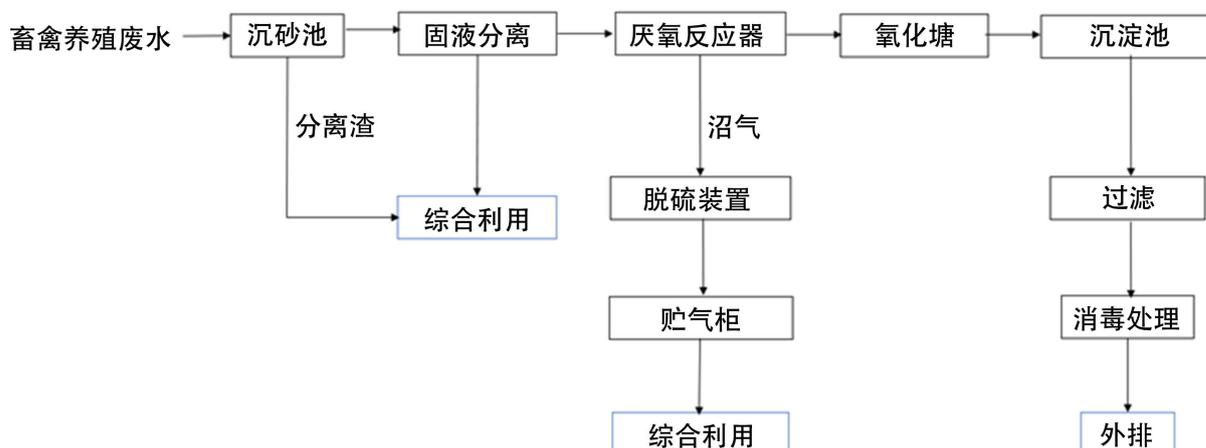


Figure 2. Anaerobic-aerobic treatment process flow chart

图 2. 厌氧-好氧处理工艺流程图

4.3. 自然生态处理

自然生态处理技术是指利用天然的水体、土壤和生物来处理畜禽养殖废水。常见的自然生态处理技术有氧化塘处理工艺和人工湿地处理工艺。

氧化塘是一种利用自然净化能力处理污水的构筑物，该工艺的净化原理与天然水体的自净原理一致，主要利用塘中生长的微生物来处理污水。氧化塘处理法具有操作简单、经济实用、净化效果好的特点，塘内种植的水生植物也可作为饲料或绿肥。根据运行方式不同，氧化塘可进一步分为厌氧塘、兼性塘和好氧塘。单一功能的氧化塘难以长期满足废水处理标准的要求，一级氧化塘的氨氮去除率低，仅为20%~30%，是废水达标排放的限制性因素[14]，因此氧化塘经常采用多级串联运行的高级综合稳定塘工艺。

人工湿地由水、滤料及水生生物组成，是一种通过人为控制条件，在物理、化学、生物作用下，具有较好的污染物去除效果的污水处理技术。其作用过程包括吸附、过滤、截留、氧化还原、沉淀、微生物分解、生物转化等[15]。在净化污水的同时，营造良好的景观环境，获得污水处理的最佳效益。目前对该工艺的研究主要在于选择合适的基质种类和植物种类等两方面，以满足对于畜禽养殖废水的处理需求。

5. 固体废弃物处理与资源化利用技术

5.1. 能源化处理

畜禽粪便能够经过直接燃烧转化为热能或者经厌氧发酵生成沼气。近年来沼气工程受到国家的大力推广和扶持。利用厌氧发酵技术处理禽畜养殖废弃物，可获得沼气，其特性与天然气相似，可以作为清洁能源，经过燃烧转化成热能。此外，沼气也可代替汽油或柴油进行发电。随着大型沼气工程的大量建设和沼气综合利用的不断发展，沼气发电技术已得到广泛应用[16]。沼气工程应用于畜禽养殖废弃物的处理，既可达到处置污染物的效果，又可以达到回收能源，降低成本的目的[17]，因而具有明显的社会效益、环境效益和经济效益。

利用畜禽粪便生产乙醇是另外一种能源化处理方式。由于畜禽粪便中含有丰富的纤维素、半纤维素、木质素及其他灰分杂质，如果将其中的纤维素类物质乙醇化，畜禽粪便将成为生产燃料乙醇的潜在资源。纤维素的乙醇化就是利用微生物的酶解作用，将纤维素转换成还原糖，然后再利用微生物的酶解作用将还原糖转换成乙醇[18]。

5.2. 肥料化处理

畜禽粪便中含有农作物生长必需的氮、磷、钾等元素，以往农业耕作过程的主要肥料都是畜禽粪便，并且施肥时以堆肥还田的方式加以应用。堆肥处理指利用广泛存在于自然界中的微生物，促进固体废物中可降解有机物转化为稳定的腐殖质的生物化学过程。在对畜禽粪便进行收集后，可与农业废弃物如稻壳、秸秆等进行混合，调整物料组分比例后，进行集中的堆肥处理，既可以提高处置效果，又避免可能造成的农业资源浪费[19]。根据采取条件的不同，堆肥可分为好氧堆肥与厌氧堆肥，分别是在好氧或厌氧条件下，通过目标微生物的代谢活动分解有机质，并转化为利于作物吸收生长的腐殖质。一般来说厌氧堆肥所需时间长，而好氧堆肥周期较短，效率较高，分解较为充分，所以得到较为普遍的应用。畜禽粪便经过高温好氧堆肥处理后，不仅可以杀灭畜禽粪便中的各种病原微生物，降低病毒传播风险，达到国家卫生标准要求[20]，还能生成可被植物吸收利用的有效养分，具有改良和调节土壤的作用。有研究证实，畜禽粪便中含有的重金属元素在经过堆肥后被钝化，活性降低，大大降低重金属的生物毒性[21]。由此看来，堆肥是畜禽粪便无害化、资源化利用的最佳途径之一。在堆肥处理之后，畜禽粪便可以达到稳定化、腐熟化的状态，没有刺鼻气味，可利用的营养元素含量高，同时减少了对地下水、大气和土壤环境的危害，这种处理方法具有运行费用低、处理量大、无二次污染等优点。

5.3. 饲料化处理

畜禽粪便中含有大量未消化的蛋白质、多种维生素、矿物质元素、粗脂肪和碳水化合物，特别是粗蛋白质含量较高，经过加工处理后，可以制成较为优质的饲料资源。将畜禽养殖废弃物进行饲料化处理既可以大大降低养殖成本，又可以真正的实现资源化。目前利用养殖废弃物作饲料的方法主要有：直接喂养法、干燥法、微波法、化学法、青贮法和生物法等[22]。最常见的处理方法是直接喂养法和干燥法，直接喂养法主要适用于鸡粪，因为鸡的肠道短，饲料中大约 70%的营养物质没有经消化吸收就排出体外，养殖场可以把鸡粪代替部分精料来养牛、喂猪[23]。干燥法是采用人工干燥的方式对粪便进行干燥，从而更好地达到杀菌、消毒、除臭的效果。不过同时也要注意到的是，养殖废弃物中还残留有生产环节中添加的各种添加剂、抗生素等物质，可能出现有害物质超标的情况，所以饲料化的应用也存在一定的争议，有些发达国家并不主张将畜禽粪使用作饲料。基于资源化利用角度，这种处理方法具有一定的前景，可与其他无害化手段相结合，达到污染防治与资源回收的双重目的，在未来一段时间，这将成为研究需要突破的方向。

6. 问题及展望

1) 目前来看，我国畜禽养殖涉及的污染治理相关技术环节仍存在进一步发展的空间，为了更好地实现可持续发展战略，畜禽养殖的废弃物资源化利用已经成为了一种必然选择。在未来，无害化、资源化模式将逐步取代传统污染-治理模式。同时，在废弃物转化的过程中，应注意避免可能造成的二次污染问题。需要从效果、效率、效益等出发点考虑，推动污染防治技术的快速发展。

2) 畜禽养殖污染防控所涉及的关键技术和工艺流程，都需要结合当地的现场情况而定，在对实际条件进行综合考虑后，选取重点技术进行优化、调整，也可以将不同的处置流程相互结合，形成集成技术，来解决污染问题，实现可持续发展的绿色循环经济。

3) 由于畜禽养殖污染防治困难和各地区监管政策的差异，无害化、资源化技术难以推广。畜牧循环经济在中国并不是能够快速实现的，在中小城市，养殖业更加分散，养殖户和相关管理人员环保意识淡薄的情况仍然普遍存在，给环境治理的实施带来很大困难。如何构建科学完善的标准体系，加大整治力度，从源头优化养殖结构，促使我国畜禽养殖业朝着生态化、标准化的方向迈进，是政府管理部门和科

研工作者需要面对的重要问题。

7. 结论

当前我国畜禽养殖业正快速发展, 做好畜禽养殖污染的防控工作极为重要。贯彻落实“预防为主, 防控结合”的理念, 养殖饲料以及养殖工艺的改进可以有效预防部分畜禽养殖污染的产生。在畜禽养殖过程中, 通过物化处理、生物处理以及自然生态处理等技术对产生的废水进行集中的收集与处理, 并从能源化、肥料化、饲料化等三个角度对畜禽粪便进行资源化利用, 促进畜禽养殖业的可持续发展。

项目编号

国家重点研发计划项目课题: 田园综合体生态环境治理技术集成与示范(编号: 2019YFD1101303)。

参考文献

- [1] 第二次全国污染源普查公报[J]. 环境保护, 2020, 48(18): 8-10.
- [2] 张飞. 县域畜禽污染防治对策研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
- [3] 李红娜, 吴华山, 耿兵, 等. 我国畜禽养殖污染防治瓶颈问题及对策建议[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(2): 167-172.
- [4] 曹晓, 刘学擎, 翟付群. 畜禽养殖业的清洁生产与污染防治思路探讨[J]. 节能与环保, 2020(6): 34-35.
- [5] 谢文刚. 青贮饲料在奶牛养殖生产中的应用及注意事项[J]. 畜牧兽医科学, 2020(7): 174-175.
- [6] 高环, 罗彬, 黄兴国. 微生态制剂对生长猪生产性能、养分消化率及粪中微生物的影响[J]. 中国饲料, 2015(15): 15-18.
- [7] 陈星. 水污染物减排经济影响解析与技术途径优化研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 清华大学, 2017.
- [8] 李延隆, 张闻, 刘宇. 畜禽养殖粪污处理的研究现状与推广展望[J]. 畜牧业环境, 2020(2): 16-26.
- [9] 刘志奇. 生态养殖与畜牧业可持续发展分析[J]. 今日畜牧兽医, 2020, 36(6): 54.
- [10] 龙木措. 浅谈畜禽养殖废水处理技术[J]. 今日畜牧兽医, 2019, 35(7): 77.
- [11] 何立红. 畜禽养殖废水处理技术应用及研究进展[J]. 节能与环保, 2021(6): 84-85.
- [12] 唐国民, 魏玉江, 张焕新, 等. O^3 、 O^3/H_2O_2 、 $O^3/S_2O_8^{2-}$ 处理畜禽养殖废水生化出水[J]. 广州化工, 2021, 49(16): 110-112.
- [13] 马晓冬, 张星梓, 胡玉洪, 等. 畜禽养殖废水处理方法的研究进展[J]. 再生资源与循环经济, 2019, 12(1): 31-33.
- [14] 张靖雨, 汪邦稳, 夏小林, 等. 农村规模化畜禽养殖污染生态综合治理技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(19): 9-14.
- [15] 高困. 农村生活污水人工湿地处理技术研究[J]. 节能, 2020, 39(9): 90-91.
- [16] 李进卫. 聚焦养殖场畜禽粪便沼气发电变身低碳新能源[J]. 农业工程技术(新能源产业), 2013(10): 29-36.
- [17] 武深树, 谭美英, 刘伟. 沼气工程对畜禽粪便污染环境成本的控制效果[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 247-252.
- [18] 刘茂昌. 几种酸预处理对畜禽粪便乙醇化的比较研究[J]. 环境保护与循环经济, 2016, 36(4): 43-44.
- [19] Zhong, X.Z., Ma, S.C., Wang, S.P., *et al.* (2018) A Comparative Study of Composting the Solid Fraction of Dairy Manure with or without Bulking Material: Performance and Microbial Community Dynamics. *Bioresour Technol*, **247**, 443-452. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.116>
- [20] Guo, R., Li, G.X., Jiang, T., *et al.* (2012) Effect of Aeration Rate, C/N Ratio and Moisture Content on the Stability and Maturity of Compost. *Bioresour Technol*, **112**, 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>
- [21] 吕兑安. 猪粪堆肥过程中重金属形态变化特征及钝化技术研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2014.
- [22] 黎运红. 畜禽粪便资源化利用潜力研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [23] 李莉, 杨昕润, 何家俊, 等. 我国畜禽粪便资源化利用的现状与展望[J]. 中国奶牛, 2020(11): 55-60.