

江西省家禽养殖废弃物处理模式的应用现状及建议

刘雪丽, 付友生, 吴兆胜, 李模其, 徐桃珍* (江西省农业技术推广中心, 江西南昌 330046)

摘要 近年来,江西省的家禽养殖业得到了持续快速的发展,但同时也产生了大量的养殖废弃物,选用适宜的处理模式对家禽养殖废弃物的处理至关重要。概述了江西省家禽养殖废弃物处理的典型模式及相应的应用案例,在此基础上分析了家禽养殖废弃物处理模式中存在的问题,并对选择适宜的废弃物处理模式提出了建议,以期为合理选择家禽废弃物处理模式提供参考。

关键词 家禽养殖废弃物;处理模式;应用现状;建议;江西省

中图分类号 X 713 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)16-0042-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.16.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Application Status and Suggestions of Poultry Breeding Waste Treatment Mode in Jiangxi Province

LIU Xue-li, FU You-sheng, WU Zhao-sheng et al (Jiangxi Province Agricultural Technology Extension Center, Nanchang, Jiangxi 330046)

Abstract In recent years, the poultry breeding industry in Jiangxi Province has developed continuously and rapidly, but at the same time, a large amount of breeding waste has been produced, the selection of appropriate treatment mode is very important for the treatment of poultry breeding waste. The typical models and corresponding application cases of poultry breeding waste treatment in Jiangxi Province were summarized. On this basis, the problems existing in the poultry breeding waste treatment model were analyzed, and suggestions for choosing an appropriate waste treatment model were put forward, in order to provide a reference for the rational selection of poultry waste treatment mode.

Key words Poultry breeding waste; Treatment mode; Application status; Suggestions; Jiangxi Province

近年来,江西省的家禽养殖业得到了持续快速的发展。特别是在2019年猪肉价格持续上涨且供应趋紧的影响下,家禽养殖业得到了迅猛发展,在替代猪肉供应,满足居民肉类需求上提供了有力保障。江西省家禽规模养殖的快速发展,在促进农民增收的同时也产生了大量的养殖废弃物,这些废弃物若不加处理直接排入环境中,将严重污染大气、水和土壤。随着政府对家禽养殖废弃物处理工作的持续重视,因地制宜妥善处理废弃物、防治污染成为养殖场急需解决的重点和难题。

家禽养殖废弃物主要包括家禽粪便及其产生的气体、死亡家禽尸体和养殖过程中的废水、废饲料等^[1],下文中出现的家禽养殖废弃物主要指家禽粪便。根据调查,1只成鸡每日的排便量(水粪)为70~100 g。一个约有1万只鸡的养鸡场,每日产生的鸡粪重量可达1 t,如此算来,该养鸡场1年就约有360 t的鸡粪产生。如此大量的鸡粪堆积,如果采用不适宜的处理模式进行处理,不仅会造成粪便中养分的浪费,而且会产生甲烷、氨气和硫化氢等有害气体,从而给养殖人员和周围居住人员的健康生活造成一定的危害^[2]。因此,养殖场结合自身养殖规模和经济能力,选择适合自身发展规模的经济高效的废弃物处理模式,实现家禽废弃物的减量化、无害化处理及资源化利用,对保障养殖场安全生产和健康发展具有十分重要的现实意义。笔者概述了江西省家禽养殖废弃物处理的典型模式及相应的应用案例,在此基础上分析了家禽养殖废弃物处理模式中存在的问题,并对选择适宜的废弃物处理模式提出了建议。

1 家禽养殖废弃物处理模式

家禽养殖废弃物处理模式有好氧堆肥处理模式、厌氧发酵处理模式、集中处理模式、干燥处理模式、填埋处理模式等。其中干燥处理模式成本低、投资较少,但是占地面积大,养分肥料损失多,环境污染严重,很难达到无害化处理要求,该处理模式的推广使用具有一定的局限性。填埋处理模式操作简单、成本较低,但是需要建立专门的填埋场地,易造成二次污染,此外,也易造成资源的巨大浪费,因此上述2种处理模式并没有得到有效推广。目前家禽养殖废弃物处理模式主要有好氧堆肥处理模式、厌氧发酵处理模式、集中处理模式。

1.1 好氧堆肥处理模式

1.1.1 概述。好氧堆肥处理是目前处理家禽粪便较为有效的方法之一,在通风条件好、氧气充足的条件下,利用好氧微生物把家禽粪便等有机物氧化分解成无机物,同时释放热量进行高温消毒,实现腐殖化、无害化和肥料化的过程^[3]。好氧堆肥按照堆肥设备配备情况分为发酵仓式好氧堆肥和无发酵仓式好氧堆肥。发酵仓式好氧堆肥是指将物料投放到封闭或半封闭发酵仓中,保持堆肥的水分、通风等条件维持在平衡范围,使堆肥反应顺利进行^[4]。目前应用较为普遍的发酵仓式堆肥设备有立式堆肥发酵仓、卧式堆肥发酵仓和槽式堆肥发酵仓。无发酵仓式好氧堆肥主要有条垛式堆肥和通风静态固定垛堆肥^[5]。

好氧堆肥过程中需要保持水分含量稳定,定期通风供氧,可以使微生物快速繁殖并降解有机物。家禽粪便通过好氧堆肥发酵处理之后,可以加工成有机复合肥,在堆肥发酵过程中产生的热量可以杀灭一些致病细菌和虫卵,也可以降解一部分残留的抗生素和降低重金属活性^[6]。好氧堆肥处理基本可以实现家禽粪便的无害化处理,但堆肥占地面积大,臭气控制难度大、要求高。

基金项目 江西省农机装备应用产业技术体系项目(JXARS-21)。

作者简介 刘雪丽(1988—),女,山东菏泽人,工程师,硕士,从事家禽养殖机械装备研究。*通信作者,高级工程师,从事农业机械化研究。

收稿日期 2021-10-26

1.1.2 典型案例介绍。江西抚州某养殖基地采用钢架大棚进行棚内网养鸭模式,大棚面积为 $640(8 \times 80) \text{ m}^2$,每栋大棚一批可养 5 000~6 000 只鸭,塑料养殖网上的网格有 3 cm 大小,鸭粪从养殖网眼掉落至地面,待一批鸭子出栏后清理鸭粪,继续养下一批。鸭粪等废弃物的处理主要采用的是卧式堆肥发酵仓进行好氧发酵,首先鸭粪与辅料(木屑、谷壳等)混合,进入卧式堆肥发酵仓,第一次需添加发酵的微生物,之后只需添加成品肥料。设备每天转动 2 h,旋转 8 圈,第一次发酵周期为 10~15 d,通过匀速旋转,粪便被均匀地翻动,并与供入的空气充分接触,增加混合物的孔隙率,让好氧菌有足够多的氧气存活和工作,同时肥料向出料口移动,进而完成成品肥料出料过程,很好地实现了家禽粪便的无害化处理,但设备运转过程中需要合理控制温度和水分含量。

江西吉安某种鸡场有鸡舍 35 栋,每栋容纳种鸡 7 000 羽。该场废弃物处理模式采用的是好氧堆肥发酵。首先,在种鸡入笼前,在笼下铺一层添加有微生物菌剂的辅料(如木屑、秸秆粉、稻壳粉等),种鸡入笼后,日常粪便直接排在笼下的辅料层上,此过程中粪污将进行自然的堆肥发酵(即一次发酵),待种鸡清笼后,将笼下物料全部收集到堆肥场进行二次发酵得到成品有机肥。二次发酵流程:原材料、预混辅料投放生物菌进行堆肥发酵,低堆 1.2 m,发酵 8 d 后,进行翻堆,采用铲车收堆,经料仓、皮带输送机入粉碎机粉碎,过滚筒筛、自动包装机后形成成品有机肥。该养殖场在一定程度上废弃物得到了有效处理,但是处理过程中会有氨气的逸出,恶臭气体的传播不能完全控制,而且堆肥处理占用场地大,养殖环境较差。

1.2 厌氧发酵处理模式

1.2.1 概述。厌氧发酵处理是以家禽粪便为原料,在厌氧发酵设备中,在无氧条件下利用厌氧微生物的分解作用,将粪便中的有机物(蛋白质、碳水化合物和脂肪)转化成简单的有机酸,进而将简单的有机酸转化为二氧化碳和甲烷^[7]。此外,沼气池厌氧发酵后,其沼渣和沼液经过生物菌的再次生化反应,可以产生肥效较高的活性有机肥或进一步加工成复合有机肥^[8]。

厌氧发酵分类依据不同,则分类不同。根据温度高低可分为常温、中温和高温厌氧发酵,其中中温厌氧发酵介于低温和高温之间,操作相对简单,发酵温度易控制、产气稳定、能耗适中,应用较为广泛^[6]。按照发酵过程的反应级数分为单相和两相厌氧发酵,其中两相厌氧堆肥反应器更加稳定,反应产气效率更好,但设备整体造价偏高且运行投资与单项厌氧反应器相比较贵。

厌氧发酵可产生沼气,是一种比较有效的家禽粪便处理模式,其中家禽粪便沼气化可以实现废弃物资源化和高利用,也是目前应用最多的处理方法^[9]。厌氧堆肥处理产生的甲烷可以作为再生能源使用,既可以作为燃料直接燃烧,也可以利用沼气并网发电;但是氨气的挥发损失较多,处理池容积需求大,而且沼气池发酵效果易受温度影响。沼气厌氧发酵法适用于采用水冲式(或水泡式)清粪工艺的规模化

家禽养殖场的液态家禽粪便。

1.2.2 典型案例介绍。江西省某生态科技发展有限公司有 3 个厌氧发酵罐,其中 $6 000 \text{ m}^3$ 的 2 个, $3 000 \text{ m}^3$ 的 1 个;年处理量为 20 万 t,处理过程中产生的沼气用于发电,余热用于发酵罐保温。该公司通过吸粪运输车将收集的家禽粪便倒入预处理池除去异物,然后进入均浆池,均浆后送入厌氧罐进行 30 d 左右、 $38 \text{ }^\circ\text{C}$ 中温厌氧发酵,产生的沼气通过净化室净化后进入储气柜保存,沼气用于发电和火炬,发电的余热回收通过管道输送至发酵罐用于保温。沼液和沼渣经过过滤和生物处理,生成耦合液肥,卖给种植农户,还田利用;或者生物处理后送至液肥生产线生产成液肥。该处理模式很好地实现了家禽粪便的有效处理和资源回收利用。

1.3 集中处理模式

1.3.1 概述。集中处理模式是在一定范围达到一定养殖规模的养殖密集区,建设规模化养殖场粪污集中处理利用工程,或依托专业的粪污处理公司进行集中处理。集中处理模式分为固体粪便集中处理和液体粪污集中处理^[10]。固体粪便集中处理一般通过专用运输车将家禽粪便运到专用处理场所,然后进行机械搅拌堆肥发酵、堆制腐熟、粉碎加工等工艺,制成商品化有机肥,提高肥料附加值^[11]。液体粪污集中处理首先是养殖场暂存污水,然后用专用吸粪车转运到处理场,将液体粪污固液分离后进行高效生物处理,将有价值的肥水贮存进行综合利用,提高污水处理效率,实现污水的资源化利用。

集中处理模式转变了现有每个养殖场粪污单独处理模式,降低了小规模养殖场的投资与运行成本,提高了粪污处理公司的处理设备的利用率。集中处理模式实现了养治分离、促进了规模化、专业化,同时也提高了废弃物处理的附加值。该模式适用于各种中小规模的家禽养殖场。

1.3.2 典型案例介绍。江西省某生态科技发展有限公司进贤分公司的家禽废弃物处理模式主要为集中处理模式,具有相对完善的家禽废弃物处理设施设备,建有粪污集中处理利用工程。家禽废弃物集中处理工程主要有沼气工程和有机肥生产。

该公司通过吸粪运输车集中收集进贤县内各养殖场内的家禽粪便,并转运到公司进行相应的预处理除去异物,进入均浆池,均浆后送入厌氧罐进行 30 d 左右、 $38 \text{ }^\circ\text{C}$ 的中温厌氧发酵,产生的沼气通过净化室净化后进入储气柜保存,沼气用于发电和火炬,发电的余热回收通过管道输送至发酵罐用于保温。发酵的产物进入沉降池,沉降后液体进入沼液池继续渣液分离。沉降池和沼液池的液体部分进行过滤和生物处理成耦合液肥,卖给种植农户;或者生物处理后送至液肥生产线生产成液肥。液肥生产线工艺流程:液料进入沉降塔沉降后进入发酵罐发酵,然后再进入絮凝罐、络合罐、复配罐,最后成品罐装。

沉降池的沉渣进入均化池均化后用固液分离机进行固液分离,其中 30% 的有机肥用于当地无公害农田、果园,剩余部分的固体送至固肥生产线,液体送至液肥生产线,经过一

系列加工工序,加工成相应的固态(颗粒和粉状)复合肥和液态复合肥。沼液池的沉渣通过可移动式螺杆泵输送至干化场,然后分批送入发酵槽进行二次发酵(好氧发酵),发酵过程中经常用翻抛机进行翻抛,物料发酵好后送至固肥生产线。固肥生产线工艺流程:发酵好的物料进行粉碎、筛分、配料混合,生产粉料肥就进入粉料包装线包装完成生产;生产颗粒肥要送入造粒机造粒,烘干、冷却、筛分、包膜,再进入颗粒包装线包装完成生产。

该公司废弃物处理采用集中处理,围绕家禽粪污“收-储-运-处理-利用”各环节,使废弃物处理实现减量化、无害化、生态化和资源化,设备先进,处理达标可靠性高,实现了种养结合和生态循环。随着环保要求日益严格,中小型养殖场投资家禽废弃物处理设施设备压力大,将趋向于依托第三方的设施设备来处理废弃物。

2 家禽养殖废弃物处理模式存在的问题

2.1 废弃物处理模式应用不匹配,废弃物处理不彻底、不到位 废弃物处理的主体应该是规模化养殖场。由于环保意识不够强或缺乏经济高效的废弃物处理模式,有些养殖场主动处理废弃物的积极性不高,废弃物处理技术不够现代化,废弃物处理模式与养殖场建设、养殖规模不匹配,导致废弃物处理不彻底、不到位,易造成二次污染,甚至有个别养殖户往往简单处理直接还田或者会出现偷排乱排现象^[12]。

2.2 废弃物处理设施配套及标准化仍需进一步完善 有些养殖场没有充分考虑废弃物处理设备配套问题,养殖场废弃物处理设施主要是简单建设一个堆粪场和粪污处理池,采用简易的堆肥发酵,标准化废弃物处理装备缺乏,处理利用率不高,对实现机械化、自动化养殖还有一定的差距,废弃物处理设施配套率仍需进一步完善提高。

2.3 废弃物处理装备制造发展缓慢 家禽养殖机械化水平普遍不高,对家禽废弃物处理设备需求不高,因此从事家禽粪污处理利用相关装备制造的农机企业不多,以中小企业为主。此外,政策支持的推动力度也不够,用于废弃物处理装备的研发、试验项目及项目资金缺乏,企业研发投入积极性不高。

3 家禽养殖废弃物处理模式应用建议

3.1 强化主体责任,因地制宜选择废弃物处理模式 在实际生产中,明确养殖场的主体责任,严格规范家禽养殖场废弃物处理流程,严格进行粪污处理,保证粪污有效处理。养殖场结合自身经济及发展规模,选择与养殖场建设、养殖规模及养殖工艺相匹配的废弃物处理模式以减少或避免出现废弃物处理不彻底、不到位、造成二次污染的现象。例如,小规模养殖场可以采用干清粪,清理出来的固体粪便堆肥还田利用,实现种养结合的处理模式;中小规模养殖场可以依托专门的废弃物处理公司进行集中处理,降低投资成本;大型养殖场可以结合自身条件自建粪污处置设施,购置废弃物处理设备,采用集中处理模式,自产自销,实现生态循环。

3.2 进一步完善与废弃物处理模式相配套的设施设备 废弃物处理模式的选用需要有相配套的处理设施设备作为支

撑。目前,养殖场废弃物处理设施主要是建设堆粪场和粪污处理池,采用简单的堆肥发酵,标准化废弃物处理设施缺乏。因此,家禽废弃物的有效处理需要进一步完善废弃物处理设施配套,提升养殖标准化水平的配套设施设备,改扩建或新建家禽规模化养殖场,配套与养殖规模和处理工艺相适应的粪污消纳用地,配齐粪污收集、贮存、处理、利用设施设备,实现养殖全程机械化。例如,采用好氧堆肥发酵需要配备相应的好氧发酵仓以及相应的翻抛机等设备,采用厌氧发酵需要配备相应的污水储存池等,采用集中处理模式需要配备完善的固液处理设施设备。

3.3 综合应用多种处理模式,构建废弃物资源化利用新体系 构建家禽养殖废弃物资源化利用循环经济发展新体系,对提高家禽废弃物的资源化利用,实现养殖产业的高效、生态、多元化发展具有重要意义。废弃物处理包括收集、存储、运输、处理、利用等环节,技术要求高。有时仅采用一种废弃物处理模式,废弃物可能得不到彻底的处理。所以,在实际应用中,应根据实际情况,综合利用多种处理模式,提高废弃物处理效率和资源化利用率。此外,在实际应用中,应加强废弃物处理技术及设备的研发创新,减少综合处理成本,探索经济、适宜及高效的废弃物处理模式,使所有废弃物得到有效处理和利用,以达到零污染和零排放。

4 结语

江西省作为家禽养殖大省,家禽废弃物产量多,家禽废弃物的处理受到各级政府和环保部门的高度重视。目前,该省家禽废弃物处理模式存在与养殖场建设、养殖规模不匹配、设施配套及标准化程度不高、废弃物综合利用技术模式相对落后等问题,存在一定的环境污染及安全隐患。因此,废弃物处理模式的选用需要考虑养殖场的实际条件,以养殖场为主体,综合利用技术途径,配套标准化废弃物处理设施设备,因地制宜,因场施策,选择最适合自身规模养殖场的废弃物处理模式,做到废弃物处理模式与养殖规模、养殖工艺相匹配,实现家禽废弃物的有效处理和高效利用。此外,应加强废弃物处理技术的创新及相应设备的研发,不断优化现有废弃物处理模式,积极探索经济、适宜及高效的废弃物处理模式。

参考文献

- [1] 谢光辉,包维卿,刘继军,等.中国畜禽粪便资源研究现状述评[J].中国农业大学学报,2018,23(4):75-87.
- [2] 朱宁欣,龙东海,张英.试析鸡粪资源化处理和利用技术[J].农业与技术,2017,37(21):150,163.
- [3] 赵明杰,吴德胜,张雪立,等.畜禽粪污堆肥发酵技术及装备[J].农业工程,2019,9(9):46-51.
- [4] 王海洲,郑作军,柳荣群,等.卧式旋转好氧发酵处理鸡粪模式及技术示范[J].中国畜禽种业,2021,17(1):46-47.
- [5] 李尚民,范建华,蒋一秀,等.鸡场废弃物资源化利用的主要模式[J].中国家禽,2017,39(22):67-69.
- [6] 王毅琪,韩文彪,陈灏,等.畜禽养殖废弃物无害化处理技术及其应用[J].中国家禽,2016,38(24):66-70.
- [7] 张闯,张颖.家禽养殖废弃物无害化处理与高值化利用[J].中国畜禽种业,2019,15(8):53.
- [8] 张俊哲,刘执平,陈国忠.家禽粪便处理技术的研究进展[J].家禽科学,2019(1):52-55.

色素,该途径的第一步是烟碱在尼古丁脱氢酶的催化下开始的。在整个途径中产生了几种酶,如尼古丁脱氢酶、6-羟基-1-尼古丁氧化酶和酮脱氢酶^[13-16]。因此,也不难理解培养液的颜色变化,以及 P3a 的尼古丁脱氢酶的活性高于 EA-17,高达 9.01。

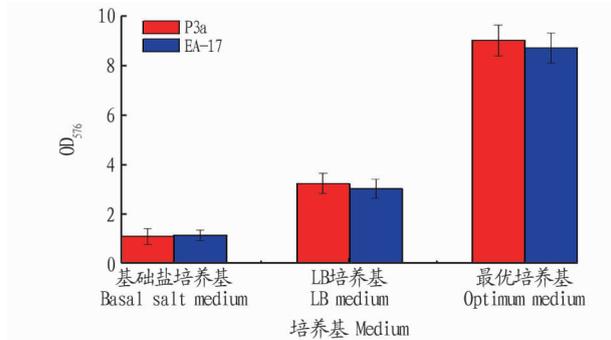


图7 不同培养基下菌株 P3a 和 EA-17 的尼古丁脱氢酶活性

Fig.7 Nicotine dehydrogenase activities of strains P3a and EA-17 in different media

表2 菌株 P3a 对烟叶烘烤过程中烟碱降解的影响

Table 2 Effects of strain P3a on nicotine degradation during tobacco baking %

处理 (Treatment)	烟碱含量 (Nicotine content)	降解率 (Degradation rate)
喷施 P3a (Spray P3a)	0.79	55.11
CK (清水) (CK (clean water))	1.76	5.88

Arthrobacter sp.P3a 能在 37 °C、pH 7.0 的条件下,将初始浓度为 2 g/L 烟碱作为唯一碳源和氮源,在培养 36 h 内可降解 99.06% 的烟碱。且探究了该菌株的最优培养条件,即在以葡萄糖作为碳源,以玉米浆干粉为有机碳源,以硫酸铵为无机氮源时,菌株 P3a 最佳 pH 为 6.5~7.0,与假单胞菌属 HF-1 和节杆菌 aRF-1 相似^[17-18];最适生长温度为 28 °C,与米曲霉 112822^[19-20] 相似。P3a 能在烟碱浓度为 5 g/L 的情况下良好生长,相比苍白杆菌 SJY1 (3.0 g/L) 和假单胞菌 HF-1 (2.0 g/L) 的烟碱耐受性^[17,21],P3a 有很强的耐受性。并将它应用到新鲜的烟叶中,发现它可以减少 1 kg 新鲜烟叶中 55.11% 的烟碱;鉴于其对烟碱的降解能力很强,可高效地应用于环境和烟草废弃物中的烟碱降解。

参考文献

[1] 高淑芳,于皓,王姝,等.孕期尼古丁暴露对新生儿神经、智力及生长发育的影响[J].浙江实用医学,2018,23(5):324-326.

(上接第 44 页)

[9] 许文志,欧阳平,罗付香,等.中国畜禽粪污处理利用现状及对策探讨[J].中国农学通报,2017,33(23):106-112.

[10] 陶秀萍.畜禽养殖废弃物处理和利用技术模式[J].中国禽业导刊,

- [2] WANG S N, XU P, TANG H Z, et al. "Green" route to 6-hydroxy-3-succinoyl-pyridine from (S)-nicotine of tobacco waste by whole cells of a *Pseudomonas* sp. [J]. Environmental science & technology, 2005, 39(17): 6877-6880.
- [3] GURUSAMY R, NATARAJAN S. Current status on biochemistry and molecular biology of microbial degradation of nicotine [J]. The scientific world journal, 2013, 2013: 1-15.
- [4] NOVOTNY T E, ZHAO F. Consumption and production waste: Another externality of tobacco use [J]. Tobacco control, 1999, 8(1): 75-80.
- [5] MAZAR N, ZHONG C B. Do green products make us better people? [J]. Psychological science, 2010, 21(4): 494-498.
- [6] DE FRANCO M A E, DA SILVA W L, BAGNARA M, et al. Photocatalytic degradation of nicotine in an aqueous solution using unconventional supported catalysts and commercial ZnO/TiO₂ under ultraviolet radiation [J]. Science of the total environment, 2014, 494/495: 97-103.
- [7] PASSANANTI M, TEMUSSI F, IESCE M R, et al. Photoenhanced transformation of nicotine in aquatic environments: Involvement of naturally occurring radical sources [J]. Water research, 2014, 55(2): 106-114.
- [8] WANG S N, HUANG H Y, XIE K B, et al. Identification of nicotine biotransformation intermediates by *Agrobacterium tumefaciens* strain S33 suggests a novel nicotine degradation pathway [J]. Applied microbiology and biotechnology, 2012, 95(6): 1567-1578.
- [9] WANG S N, LIU Z, XU P. Biodegradation of nicotine by a newly isolated *Agrobacterium* sp. strain S33 [J]. Journal of applied microbiology, 2009, 107(3): 838-847.
- [10] 张娟. 烟碱降解菌的筛选及其酶的纯化与性质研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [11] 曾思钰, 凌雪萍, 张长杰, 等. 花生四烯酸产生菌高山被孢霉的高糖驯化研究 [J]. 微生物学通报, 2012, 39(5): 645-653.
- [12] 王瑞, 施河丽, 陈守文. 烟碱降解菌的分离、鉴定及其在烟草秸秆发酵中的应用研究 [C] // 中国烟草学会 2015 年度优秀论文集汇编. 北京: 中国烟草学会, 2015: 1212-1224.
- [13] 陈辰. 一株新的高效尼古丁降解菌的分离鉴定、降解条件优化及代谢机制研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
- [14] 申永防, 张广东, 王静, 等. 根癌农杆菌与嗜烟碱节杆菌降解烟碱特性的对比分析 [J]. 烟草科技, 2013, 46(11): 82-85.
- [15] YANG G F, WEI Z, SUN W J, et al. Purification and enzymatic characterization of membrane-bound d-gluconate dehydrogenase from *Arthrobacter globiformis* [J]. Journal of molecular catalysis B: Enzymatic, 2015, 113: 14-22.
- [16] REZNICEK O, FACEY S J, HAUER B. Draft genome sequence of a papaverine-degrading, Gram-positive *Arthrobacter* sp., isolated from soil near Hohenheim, Germany [J]. Genome announcements, 2015, 3(3): 1.
- [17] 邵铁娟. 假单胞菌菌株 HF-1 的尼古丁代谢途径及其分子生物学研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [18] RUAN A D, GAO Y, FANG C, et al. Isolation and characterization of a novel nicotophilic bacterium, *Arthrobacter* sp. aRF-1 and its metabolic pathway [J]. Biotechnology and applied biochemistry, 2018, 65(6): 848-856.
- [19] 黄有贵. 米曲霉尼古丁去甲基酶的分离纯化及尼古丁诱导的转录组分析 [D]. 济南: 山东大学, 2015.
- [20] MENG X J, LU L L, GU G F, et al. A novel pathway for nicotine degradation by *Aspergillus oryzae* 112822 isolated from tobacco leaves [J]. Research in microbiology, 2010, 161(7): 626-633.
- [21] YU H, TANG H Z, ZHU X Y, et al. Molecular mechanism of nicotine degradation by a newly isolated strain, *Ochrobactrum* sp. strain SJY1 [J]. Applied and environmental microbiology, 2015, 81(1): 272-281.

2016, 33(2): 36-37.

[11] 刘双, 刘文科, 刘燕. 家禽业废弃物处理与资源化利用模式 [J]. 北方牧业, 2017(12): 14-15.

[12] 杨琴, 樊战辉, 孙家宾, 等. 大城市近郊畜禽粪例资源化利用问题及对策: 以成都市新津县为例 [J]. 安徽农业科学, 2018, 46(35): 87-90.