

张霞, 李健, 潘孝青, 等. 规模兔场污液异位发酵处理技术应用[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(6): 1471-1475.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.06.014

## 规模兔场污液异位发酵处理技术应用

张霞, 李健, 潘孝青, 邵乐, 秦枫, 翟频, 杨杰  
(江苏省农业科学院畜牧研究所/农业农村部种养结合重点实验室, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 近年来, 中国家兔养殖业规模化、集约化程度越来越高, 粪污尤其是污液的处理已成为制约家兔养殖业可持续发展的重要因素。本研究采用异位发酵技术处理兔场污液, 通过测定垫料理化特性, 评价应用效果。结果表明, 发酵床在停止添加污液后再持续发酵 22 d, 垫料中有机质、全氮、五氧化二磷、氧化钾含量, 砷、铬、铅、汞及镉的含量均符合《畜禽粪便堆肥技术规范》(NY/T 3442-2019)对堆肥产物质量的要求。异位发酵与氧化塘处理相比, 污液在集污池内存储时间缩短为 21~28 d, 周转时间(21~28 d)远低于氧化塘法所需的 90 d, 且集污池容积仅为氧化塘容积的 1/3, 大幅减少了建造成本。发酵后的垫料便于堆放和进行远距离运输, 且应用中受作物种植季节与地域环境影响少, 克服了规模养殖场需配备土地的限制。

**关键词:** 规模兔场; 污液; 异位发酵

**中图分类号:** X713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)06-1471-05

## Application of ectopic fermentation technology for sewage treatment large-scale rabbit farm

ZHANG Xia, LI Jian, PAN Xiao-qing, SHAO Le, QIN Feng, ZHAI Pin<sup>1,2</sup>, YANG Jie

(*Institute of Animal Science, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop and Livestock Integrated Farming, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China*)

**Abstract:** In recent years, the scale and intensive degree of rabbit industry in China is getting higher and higher. The treatment of sewage has become an important factor restricting the sustainable development of rabbit industry. In this study, ectopic fermentation technology was used to treat sewage of rabbit farm. The physical and chemical properties of fermented bedding materials were measured, and the application effect of ectopic fermentation technology was evaluated. The results showed that the contents of organic matter, total nitrogen,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , As, Cr, Pb, Hg and Cd in bedding materials, on 22 days after the last addition of sewage, met the quality requirements of compost products in NY/T 3442-2019. Compared with the treatment in the oxidation pond, the storage time of sewage collection pool in an ectopic fermentation system was shortened to 21-28 d, and the storage time of oxidation pond treatment was 90 days. The volume of sewage collection pool in an ectopic fermentation system was 1/3 of that in the oxidation pond system, so the construction cost was greatly reduced. The ectopic fermented bedding material is convenient for stacking and long-distance transport, and is less affected by crop planting season and regional environment in application. The ectopic fermentation system overcomes the limitation that large-scale farms need to be equipped with large area land.

**Key words:** large-scale rabbit farm; sewage; ectopic fermentation

收稿日期: 2021-06-30

基金项目: 国家兔产业技术体系-南京综合试验站项目(CAR-43-G-2); 江苏省农业科技自主创新基金项目[ CX(18)2001 ]

作者简介: 张霞(1976-), 女, 河南新乡人, 博士, 副研究员, 主要从事畜禽粪便综合利用研究。(E-mail) 583765990@qq.com

通讯作者: 杨杰, (E-mail) 598320394@qq.com

近年来, 中国家兔养殖业规模化、集约化程度越来越高, 显著提高了养殖效益, 有效促进了产业发展<sup>[1]</sup>。但家兔养殖产生的粪污越来越集中, 成为影

响当地环境的重要污染源,对周边居民的日常生活环境及身体健康带来一定的危害和威胁<sup>[2]</sup>。规模兔场每只成年家兔每天产新鲜兔粪的质量约为 100~150 g,每天的排尿质量约是排粪质量的 2 倍,约 200~300 ml<sup>[3]</sup>。中国家兔 2020 年出栏约 3.19×10<sup>8</sup> 只,粪污综合处理已逐渐成为制约家兔产业可持续发展的环境因素<sup>[1]</sup>。

目前,国内规模兔场的兔粪主要通过堆肥发酵的方式处理,生产有机肥,技术较为成熟,已在大多数养兔场应用<sup>[1-2]</sup>。针对兔场污水,大多数养殖场采用氧化塘处理方式,但修建氧化塘前期成本投入较高,占地面积大,而且周边需要配套大面积的生产用地用以消纳处理后的废水<sup>[4-5]</sup>。异位发酵床是一种新的养殖业粪污处理模式,尤其是污水处理。将污水导入到异位发酵床,经过垫料高温发酵,将养殖场污水中的各种有机物进行降解后消化成 CO<sub>2</sub> 和水,通过蒸发进入大气,从而将液体转换成固体达到养殖场粪便污水零排放,该技术可以从源头上控制规模养殖场造成的粪污污染<sup>[6-7]</sup>,是农业农村部 2017 年推荐的一种养殖粪污处理模式<sup>[8]</sup>。异位发酵床畜禽养殖粪污处理技术推广以来,在不同的畜禽如蛋鸡<sup>[9]</sup>、蛋鸭<sup>[10]</sup>、猪<sup>[6,11-16]</sup>、牛<sup>[7,17-19]</sup> 等动物上均有应用,尤其在中国南方水网地区应用较多<sup>[20]</sup>。本研究采用异位发酵技术处理兔场污水,通过测定垫料理化特性,对应用效果进行评价,意在找到适合家兔养殖产业发展的经济型污水处理方式,为解决兔场环境问题提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验基地与试验材料

试验基地位于江苏省南京市六合区竹镇镇江苏省农业科学院动物科学基地实验兔场(118.625 112°,32.488 821°),竹镇镇年平均降水量 941.6 mm,平均气温 15.6 °C,最高气温 36.0 °C,最低气温零下 8.2 °C。试验兔场为存栏 1 000 只能繁殖母兔规模兔场。

### 1.2 异位发酵处理系统

异位发酵处理系统包括集污池、发酵床、发酵舍及翻抛设施等;垫料原料采用周边含碳源成分较高的农副产品,主要为菌糠、稻壳;污水为经过雨污分流之后的污水,包含家兔养殖产生的尿液、饮水过程中产生的漏液及生产中少量的冲洗水等,经由污水

管道收集到集污池内。异位发酵床垫料原料及污水基本性状见表 1。

表 1 异位发酵床垫料原料及污水基本性状

Table 1 Basic properties of bedding raw materials in an ectopic fermentation bed system and sewage

项目	污水	项目	菌糠	稻壳
化学需氧量(mg/L)	27 520.000 0	有机质(g/kg)	623.60	625.80
N(mg/L)	562.860 0	N(g/kg)	14.74	4.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/L)	415.040 0	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	11.48	0.74
K <sub>2</sub> O(mg/L)	759.250 0	K <sub>2</sub> O(g/kg)	5.66	1.33
Hg(mg/L)	0.001 4	Hg(mg/kg)	/	/
As(mg/L)	0.029 9	As(mg/kg)	2.02	0.32
Cr(mg/L)	0.053 0	Cr(mg/kg)	10.21	11.84
Pb(mg/L)	0.022 1	Pb(mg/kg)	6.54	0.86
Cd(mg/L)	0.000 8	Cd(mg/kg)	3.96	0.07

/表示未检测。

### 1.3 异位发酵床运行过程

将垫料(菌糠、稻壳、玉米芯等)铺置于异位发酵床内,翻抛机运行的同时喷洒稀释后的微生物菌种,预发酵 3 d。通过流量表精确控制每次污水添加量为垫料总质量的 2%~5%(体积质量比),污水添加频率为每 7 d 2~3 次,翻抛机运行频率为每 7 d 4~5 次,以确保垫料发酵温度在 50 °C 以上,水分含量在 60%~65%,防止在运行过程中死床(发酵床失去发酵能力或发酵能力不够)现象发生。发酵床运行 120 d 后,停止添加污水,保持定期翻抛,并在停止添加污水后的第 7 d、第 10 d、第 13 d、第 16 d、第 19 d、第 22 d 采样,样品分为鲜样与自然风干样,用于测定水分含量、有机质含量、氮含量、磷含量、钾含量、pH 值及发芽率等指标。

### 1.4 测定方法

1.4.1 基本理化性质的测定 垫料含水量按照 GB/T 8576-2010 的规定测定;垫料有机质含量采用重铬酸钾容量法测定;全氮和全磷含量的测定:首先采用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 与 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 加热消煮样品,然后全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定,全磷含量采用钼黄比色法测定;铵态氮含量测定:采用 2 mol/L 的 KCl 溶液浸提新鲜样品,设定固液比为 1:10(质量比),用流动分析仪测定铵态氮含量;pH 值与电导率(EC)的测定:采用去离子水浸提新鲜的垫料样品,垫料与水的固液比为 1:10(质量比),在摇床上 180 r/min

振荡 30 min, 静置 30 min。采用 Mettler Toledo FiveEasy Plus 型 pH 计测定 pH, 采用 EC215 Conductivity Meter 电导率仪测定电导率; 发芽指数 ( $GI$ ) 测定: 收集固液比为 1:10 (质量比) 的浸提液过滤后的滤液, 按照 NY/T 3442-2019 的规定进行发芽测定, 选 20 粒大小一致的黄瓜种子放入垫有滤纸的 9 cm 培养皿内, 然后加入 5 ml 浸提液, 在 25 ℃ 的培养箱中培养 48 h 后, 统计发芽率和测量发芽种子的根长, 同时用去离子水做空白对照培养种子, 测发芽率和根长。  $GI = (\text{浸提液培养种子的发芽率} \times \text{浸提液培养种子的根长}) / (\text{去离子水培养种子的发芽率} \times \text{去离子水培养种子的根长}) \times 100\%$ 。

#### 1.4.2 重金属含量的测定 重金属元素 (Cr、As、

Cd、Pb、Hg) 及钾元素等, 使用硝酸: 高氯酸 = 4:1 (体积比) 的混合液, 在 130~200 ℃ 条件下消煮, 定容取上清液待测。采用江苏省农业科学院中心实验室的 ICP-MS 电感耦合等离子体质谱仪测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 异位发酵床发酵后垫料的理化性质

发酵床在停止添加污水后的 7~22 d 内继续维持发酵, 垫料含水量持续降低; 垫料全氮含量呈下降趋势; 垫料五氧化二磷与氧化钾含量则呈上升趋势; 垫料的发芽指数呈增加趋势, 由第 7 d 的 73.79% 增加到第 22 d 的 93.80%; 垫料内粪大肠菌群的数量表现为下降趋势 (表 2)。

表 2 异位发酵床最后一次添加污水后不同天数垫料理化性质 (干基)

Table 2 Physicochemical properties of bedding on different days after the last addition of sewage in the ectopic fermentation bed

停止添加污水后时间 (d)	含水量 (%)	全氮含量 (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量 (%)	K <sub>2</sub> O 含量 (%)	有机质含量 (%)	pH	EC (mS/m)	发芽指数 (%)	粪大肠菌群 (个, 1 g)
7	66.48	4.14	4.32	2.65	60.47	8.80	3.94	73.79	4.1
10	66.06	3.67	4.55	3.03	60.55	9.00	3.52	87.82	3.3
13	62.60	4.03	4.43	2.72	56.18	8.93	3.98	86.50	3.3
16	62.60	3.61	4.58	3.05	60.20	8.91	3.71	88.25	3.3
19	58.58	3.82	4.78	3.21	58.90	8.94	3.68	96.18	3.3
22	57.26	3.85	5.01	3.44	59.02	8.73	3.84	93.80	0.6

发芽指数是指黄瓜种子的发芽指数。

### 2.2 异位发酵床发酵后垫料重金属含量

由表 3 可知, 垫料砷、铬、铅、汞及镉的含量分别为 0.29 mg/kg、30.69 mg/kg、1.24 mg/kg、0.036 6

mg/kg 与 0.039 6 mg/kg, 均远小于《畜禽粪便堆肥技术规范 (NY/T 3442-2019)》对堆肥产物质量的要求。

表 3 异位发酵床最后一次添加污水后 22 d 垫料的重金属含量 (干基)

Table 3 Heavy metal content of bedding on 22 days after the last addition of sewage in the ectopic fermentation bed

	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)
异位垫料	0.29	30.69	1.24	0.036 6	0.039 6
堆肥产物质量要求 (NY/T 3442-2019)	≤15	≤150	≤50	≤2	≤3

### 2.3 规模兔场污水异位发酵床污水处理运行情况

异位发酵系统处理 1 次污水运行时间为 120 d 左右; 运行期间分 2 次添加垫料原料, 第 1 次添加 30 t 含水量 50% 左右的菌糠、5 t 含水量 20% 左右的稻壳, 30 d 后第 2 次补充添加 15 t 含水量 50% 左右的菌糠, 2 次共添加垫料原料 50 t, 垫料体积共 100 m<sup>3</sup>, 运行期间消纳污水量 138 m<sup>3</sup>, 发酵之后的垫料共 53 t (含水量约为 58%)。

### 2.4 规模兔场污水异位发酵床污水处理对不同元素的截流情况

垫料体积为 100 m<sup>3</sup> 的异位发酵床可以消纳 138 m<sup>3</sup> 污水, 这些污水化学需氧量 3 797.76 kg、氮 77.67 kg、磷 25.46 kg、钾 86.94 kg、汞 0.19 g、砷 4.13 g、铬 7.31 g、铅 3.05 g、镉 0.11 g, 处理后可避免其进入土壤环境。

### 2.5 规模兔场污水处理模式比较

对于存栏 1 000 只能繁母兔的规模兔场, 污水采



用异位发酵系统与氧化塘处理相比,污液在集污池内存储时间缩短为21~28 d,周转时间(21~28 d)远低于氧化塘法处理所需时间 90 d;同时集污池容积仅为氧化塘容积的 1/3,建造成本降低了 2/3,即前期资金投入大大降低。异位发酵后的垫料便于堆放存储和进行远距离运输,且在实际应用中受作物种植季节与地域环境的限制少,克服了规模养殖场需要配备大量土地用以消纳污水的限制。而氧化塘处理后的污液需要专用车运输至周边配套农田,需要专用管道使污水流入农田,不适宜远距离运输,污液的利用需要配合农田作物需肥规律,受季节影响较大。

### 3 讨论

#### 3.1 异位发酵床发酵后垫料特性

按《畜禽粪便堆肥技术规范(NY/T 3442-2019)》的规定,异位发酵床技术属于连续动态槽式堆肥技术,异位发酵床发酵属于一次发酵。《畜禽粪便堆肥技术规范(NY/T 3442-2019)》对于堆肥产物的质量要求为有机质含量(按干基计) $\geq 30\%$ 、水分含量 $\leq 45\%$ 、种子发芽指数 $\geq 70\%$ 、粪大肠菌群数量 $\leq 100$ (个,1 g)。本研究中异位发酵床垫料在最后一次加污液后的第 7 d 有机质含量 60.47%、种子发芽指数 73.79%、粪大肠菌群的数量为 4.1(个,1 g),均符合畜禽粪便堆肥技术规范对堆肥产物的质量要求。垫料的养分(全氮+五氧化二磷+氧化钾)含量均明显高于有机肥料(NY 525-2021)的规定( $\geq 5\%$ )。最后一次添加污液后第 22 d 的垫料样品重金属砷、铬、铅、汞及镉的含量均远小于国家农业行业标准《畜禽粪便堆肥技术规范(NY/T 3442-2019)》对堆肥产物的质量要求。由于发酵后垫料的水分含量高于堆肥产物的规定,发酵后的垫料可以作为生产有机肥的原料再进行二次发酵以生产有机肥或栽培基质。

#### 3.2 适度规模养殖场污水处理方式

2018 年开始在中国传播的非洲猪瘟,对养猪业造成的冲击极大<sup>[21]</sup>。规模化集约化的现代农业养殖必将成为中国现代化农业养殖的一种发展趋势,养殖废水的处理与排放问题愈发重要<sup>[21]</sup>。研究表明,养殖污水一旦处理不当,就能够对当地的生态环境产生很大的破坏,严重时还可能破坏地表水及地下水环境<sup>[22]</sup>。对于大型养殖场来说,其废水处理系统更多地是多项技术的组合应用<sup>[23-26]</sup>。大型养殖场处理废水常用的方法是厌氧沼气发酵<sup>[27]</sup>。

由于大型的发酵罐前期投资较大,近几年养殖场已改用成本相对较低的黑膜沼气发酵,研究表明,黑膜沼气前期投资成本为发酵罐的十分之一<sup>[25,28-30]</sup>。但是经过厌氧沼气发酵处理之后还会有大量的沼液、沼渣需要处理,不仅需要建设相配套的沉淀池、生化池,增加了前期的资金投入,还需要配套大量的土地以消纳沼液<sup>[25,31]</sup>。适度规模养殖场常使用氧化塘处理养殖废水,氧化塘更适用于缺水干燥地区的养殖场处理污水<sup>[32]</sup>,对于中国长江中下游等降水较多的地区,养殖场更多地采用黑膜沼气处理废水,即 HDPE 防渗膜把氧化塘底部做防渗和顶膜密封处理,既能阻挡臭味气体的释放,又能防止雨水进入氧化塘内,同时还能对产生的甲烷进行收集储存,但仍然需要配套大量的土地以消纳处理后的污液<sup>[5]</sup>。本研究采用异位发酵床的方式处理养殖场的废水,在异位发酵过程中,污液通过垫料吸附及微生物降解作用,丧失大量水分,部分营养物富集在垫料中,最终使液体变为固体达到零排放。本研究针对存栏 1 000 只母兔的规模兔场,采用异位发酵系统处理污液。与氧化塘处理相比,异位发酵后的垫料便于堆放存储和进行远距离运输,且在实际应用中受作物种植季节与地域环境影响少,克服了规模养殖场需要配备大量土地的限制。异位发酵床污液在集污池内贮留时间仅约为原来的 1/3(21~28 d),意味着集污池的容积为氧化塘容积的 1/3,其建造成本大大降低。在畜禽规模养殖中,依据养殖场污液产生量,建立容积匹配的集污池和异位发酵床,采用异位发酵技术,不仅在低成本条件下解决了养殖场污液治理难题,而且为构建种养结合模式提供了新途径和技术支撑。

#### 参考文献:

- [1] 武拉平,秦应和. 2020 年我国兔产业生产概况及 2021 年发展形势展望[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(3): 258-262.
- [2] 吕见涛. 兔场排泄物的资源化利用[J]. 浙江畜牧兽医, 2019(6): 9-10.
- [3] 段恩泽,麻剑雄,常楚晨,等. 兔粪的物理化学性质与发酵有机肥利用[J]. 中国养兔, 2018(6): 36-39.
- [4] 李瑜,白璐,姚慧敏. 谈氧化塘法处理集约化畜禽养殖场污水[J]. 现代农业科技, 2009(5): 248, 253.
- [5] 王子月,王亚伟,张长平,等. 厌氧塘处理畜禽养殖废水的研究进展[J]. 环境保护科学, 2018, 44(6): 67-74.
- [6] 顾洪如,杨杰,潘孝青,等. 异位发酵床猪粪尿处理技术综述[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(21): 6-9.

- [7] GUO H, GENG B, LIU X, et al. Characterization of bacterial consortium and its application in an ectopic fermentation system[J]. *Bioresource Technology*, 2013, 139: 28-33.
- [8] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见[Z/OL]. [2017-06-12]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content\\_5201790.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm).
- [9] 李路瑶, 李佳彬, 冯 烁, 等. 微生物异位发酵床处理蛋鸡养殖废弃物的效果[J]. *中国农业气象*, 2020, 41(8): 473-482.
- [10] 张 磊, 钟志勇, 夏宗群, 等. 异位发酵床处理笼养蛋鸭粪污效果初探[J]. *江西畜牧兽医杂志*, 2020(6): 16-19.
- [11] 许伏中. 异位发酵床处理猪场粪污研发与实施[J]. *中国畜禽种业*, 2014(4): 83-84.
- [12] 李路瑶, 王汉清, 李艳苓, 等. 原位和异位发酵床控制生猪养殖废弃物污染对比[J/OL]. *农业环境科学学报*. DOI: 10.11654/jaes.2021-0298. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1347.S.20210610.1248.002.html>.
- [13] 张元华, 周文天, 陈沿维. 猪场异位发酵床粪污处理设施“抽粪泵”的改用建设[J]. *四川畜牧兽医*, 2020(8): 43-44.
- [14] SHEN Q, SUN H, YAO X, et al. A comparative study of pig manure with different waste straws in an ectopic fermentation system with thermophilic bacteria during the aerobic process: performance and microbial community dynamics[J]. *Bioresource Technology*, 2019, 281: 202-208.
- [15] SHEN Q, TANG J, WANG X, et al. Fate of antibiotic resistance genes and metal resistance genes during the thermophilic fermentation of solid and liquid swine manures in an ectopic fermentation system[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 213(7): 111981.
- [16] CHEN Q, WANG J, ZHANG H, et al. Microbial community and function in nitrogen transformation of ectopic fermentation bed system for pig manure composting-science direct[J]. *Bioresource Technology*, 2020, 319: 124155.
- [17] 宋晶晶, 郭 璐, 付石军, 等. 异位发酵床在奶牛养殖中的应用研究进展[J]. *山东畜牧兽医*, 2020, 41(11): 69-72.
- [18] YANG X, GENG B, ZHU C, et al. Fermentation performance optimization in an ectopic fermentation system[J]. *Bioresource Technology*, 2018, 260: 329-337.
- [19] HUI G, ZHU C, BING G, et al. Improved fermentation performance in an expanded ectopic fermentation system inoculated with thermophilic bacteria[J]. *Bioresource Technology*, 2015, 198: 867-875.
- [20] 胡佳昕, 李有建, 杨亦文, 等. 异位发酵床除臭系统的技术优化与应用[J]. *中国家禽*, 2021, 43(4): 66-71.
- [21] 王学敏, 任守文, 方晓敏, 等. 生猪福利化半舍饲猪舍饲养工艺[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(19): 165-168.
- [22] 周 营, 俞捷径, 戴睿智, 等. 规模化养猪场养殖废水处理案例分析报告[J]. *中国资源综合利用*, 2020, 38(5): 199-201.
- [23] HAO H, XIANG L, SWA B, et al. Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives[J]. *Bioresource Technology*, 2020, 315: 123809.
- [24] LAHLOU F Z, MACKEY H R, AL-ANSARI T. Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 294: 126331.
- [25] 何仁真. 黑膜沼气池和一体化处理设备组合的工艺设计与效果[J]. *安徽农学通报*, 2014, 20(21): 78-79.
- [26] 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, 29.
- [27] 何清明. 畜禽废液污染控制处理技术浅析[J]. *山东化工*, 2020, 49(14): 263-264.
- [28] 薛同宣, 张开心, 孔雀飞, 等. 不同厌氧反应器及沼液贮存设施成本和效益分析[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2020(2): 52-54, 61.
- [29] 张 凯, 杨 林, 汪晓峰, 等. 黑膜沼气工艺特点及施工技术[J]. *农业工程*, 2019, 9(4): 48-50.
- [30] 魏敦满. 南平市畜禽粪便沼气潜力概算及沼气工程发展现状调查[J]. *中国沼气*, 2015, 33(3): 77-80.
- [31] 李雪雪. 农田消纳规模化养殖场沼液的配套面积估算模式研究[D]. 开封: 河南大学, 2019.
- [32] 魏博平, 普拉提·沙地克, 排孜来提·加帕尔. 氧化塘+土地法处理城镇污水用于固沙绿化的研究[J]. *新疆环境保护*, 2007, 29(2): 10-13.

(责任编辑:陈海霞)