

Overview of Main Nutrient and Heavy Metal Concentrations in Current Large-Scale Pig Farm Biogas Slurry

Qun Kang, Zuyao Zhang, Qin Gong, Ling Wang, Lifang Fan, Ke Li, Zhaohua Li*

Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan Hubei
Email: *zli@hubu.edu.cn

Received: Nov. 4th, 2019; accepted: Nov. 19th, 2019; published: Nov. 26th, 2019

Abstract

Traditionally biogas slurry is a kind of high quality organic fertilizer. However, with the development of large-scale pig farms and biogas projects in China, the amount of biogas slurry is huge and the composition becomes more complex. This paper studied the concentration characteristics of the nitrogen, phosphorus, potassium and heavy metals in the biogas slurry from large pig farms from 2006 to 2017, and compared heavy metals concentration with the relevant heavy metal standards. The effect on the heavy metal content in soil and plant during irrigation by diluted biogas slurry was also introduced. This paper can provide reference for the research of purification and resource utilization of the biogas slurry in China.

Keywords

Biogas Slurry, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Heavy Metals

我国大型养猪场沼液中主要养分及重金属含量综述

康 群, 张祖尧, 公 勤, 王 玲, 樊丽芳, 李 可, 李兆华*

湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉
Email: *zli@hubu.edu.cn

收稿日期: 2019年11月4日; 录用日期: 2019年11月19日; 发布日期: 2019年11月26日

*通讯作者。

文章引用: 康群, 张祖尧, 公勤, 王玲, 樊丽芳, 李可, 李兆华. 我国大型养猪场沼液中主要养分及重金属含量综述[J]. 世界生态学, 2019, 8(4): 310-316. DOI: 10.12677/ije.2019.84041

摘要

沼液是一种传统的优质有机肥料，然而随着中国规模化猪场和沼气工程的发展，沼液的数量巨大，组成更加复杂。本文阐述了2006~2017年相关文献中我国大型养猪场沼气工程产出沼液中pH值、氮、磷、钾及重金属的种类及浓度波动范围，并与相关重金属标准限值进行了比较。还介绍了某些稀释沼液灌溉实验中土壤及植物体内重金属含量的改变。本文可为沼液净化及资源化利用研究提供参考。

关键词

沼液，氮，磷，钾，重金属，含量

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 前言

我国养殖行业近年来迅猛发展。以养猪行业为例，2017年全国生猪出栏量为6.89亿头，其中规模以上企业生猪屠宰量为2.22亿头，同比增长6.3% [1]。养殖行业产生的粪污，给环境造成了巨大压力[2]。畜禽养殖污染对人们生活环境带来严重破坏，而且还阻碍畜牧业发展[3]。沼气工程因具有产生可替代能源从而可减少环境污染的优势，在全世界范围内迅猛发展[4]。以德国为例，该国沼气工程在19年前仅有850处，到2016年已经增长了10倍以上，达到9004处，约占欧洲的沼气工程总量的62% [5]。中国截止2016年底，农村使用沼气达3202.1万户，总产气量达到1,178,696.5万 m^3 ，该年每户平均产气量已达到了368.1 m^3 [6]；在2016年仅江苏省就已建成大中型沼气工程4100多处[7]。沼气工程不仅减少了农业废弃物，还能产生清洁能源甲烷和肥料沼液，带来可观的经济效益[8]。集中处理的沼气工程模式通常会大量的沼液，其关键技术环节在于沼液的利用[9]。了解我国大型养猪场沼液中营养元素的含量以及有害重金属的组成及浓度，对于研究沼液规模化资源利用具有重要的意义。

2. 我国大型养猪场沼气工程中沼液的养分及重金属情况分析

沼液组分复杂，因发酵材料和发酵工艺的不同，其组成及含量波动较大。国内外对大型沼气工程沼液养分含量报道较少[10]。有文献报道法国南部猪场沼气工程的沼液总含氮量为2800 mg/L，总磷含量为504 mg/L，总钾含量为1050 mg/L [11]。为了摸清我国大型养猪场沼气工程的沼液组分特点，本文检索并分析总结了2006~2017年国内大型养猪场沼液的主要养分及重金属分布特征，国内相关文献报道如下：

靳红梅，常志州等[26]对江苏省21个大型养殖场沼液理化特性的数据进行了分析。对21个大型沼气工程的调查结果显示：所有沼液中的氮、磷和钾的浓度都很高，非常有利于植物吸收的一个优点是其中有很大比例是速效养分。沼液中的悬浮物含量、酸碱度、及氮、磷、钾等大量元素浓度与沼气工程的运行时间有密切关系，运行时间越长，沼气工程排出的沼液的组分稳定性越好。

赵国华等分析了浙江嘉兴的猪粪尿原沼液中主要养分和重金属的分布特征，取均值见表1和表2，分析结果表明：沼液中含有大量Fe、Cu、Zn等中、微量营养元素，同时也含有一定量的As、Ni、Pb、Cd等有害重金属元素；所测必需金属元素的含量顺序为Fe > Zn > Cu > Mn，非必需重金属元素含量顺序为As > Ni > Pb > Cd，其中三种元素均低于《有机肥行业标准》(NY 525-2012)，As远超《农田灌溉水质

标准》(GB 5084-2005) [12]。张云等[13]采用 ICP-OES 联用测定了四川某养殖场沼液的重金属浓度。聂莹等[14]分析了湖南长沙地区以猪粪为原料的沼液成分,其原料为猪粪,饲料残余和畜舍废水,对比了不同季节的沼液组分含量,猪场沼液中含有 Hg、Cd、As、Pb、Cr 等重金属元素,其含量普遍低于我国的《城镇垃圾农用控制标准》的标准限值。取四个季节的元素含量范围分别列于表 1 和表 2 中。曲明山等[15]测定了北京郊区大中型沼气工程沼液养分及重金属含量。黎鑫林[16]等分析了鄱阳湖生态经济区沼肥养分及重金属状况,采用了四个取样点进行化学分析和数据对比,发现数据差别比较大,其均值列于表 1 和表 2 中。杨涛、李建国[17]等分析了江西四个地区 13 个沼液样品的重金属含量并进行安全性分析。魏世清等[18]比较了广西南宁三个月含量以及厌氧发酵前后理化特征及重金属含量的变化,发现发酵沼液中的重金属含量明显低于粪污中的含量,不同月份沼液中重金属含量差异较大;与《农田灌溉水质标准》(GB 5084-2005)中的重金属限量标准相比,8 月份南宁沼液中 Hg、Zn、Cu 超标,6 月份和 8 月份沼液 As 含量超标,沼液中 Cd、Cr、Pb 含量在允许范围内。钟攀等[19]分析了重庆沼液盐分物质和重金属状况。史艳财[20]对广东某地沼液中重金属等进行了分析。张玲玲等[21]测定了湖北天门某大型猪场沼气工程冬夏两季沼液组分。周杨、章明奎[22]对我国长三角城郊区沼液的化学组分特点及沼液农用的重金属污染风险进行了研究。沈其林,单胜道,周健驹也测定了浙江嘉兴某猪场沼液中的大量元素和微量元素的含量,以及各类氨基酸的含量[23]。辛格,高亚茹,陈国松等测定了江苏南京某地大型猪场沼液的组分[24]。将上述文献及其它相关大型养猪场沼液中氮、磷、钾组分的数据进行整理,列于表 1 和表 2 中。

2.1. 2006~2017 年我国各地沼液的 pH 值及主要养分含量

由表 1 可知,2006~2017 年,据报道的我国各地大型养猪场沼气工程中沼液,其 pH 值范围在 6.89~8.83 之间,其主要营养成分氮、磷、钾含量变化较大,总氮浓度范围在 300~10,109 mg/L 之间;总磷浓度在 3~3318 mg/L 之间;钾浓度在 36~1755 mg/L 之间;氨氮浓度范围 42~9081 mg/L 之间,硝氮浓度在 3.25~360 mg/L 之间。

Table 1. The pH and content of nitrogen, phosphorus and potassium of the biogas slurry from biogas project of large pig farm in China

表 1. 我国大型猪场沼气工程沼液 pH 值及氮、磷、钾元素的含量

沼液所在地及研究时间	数据来源	pH 值	总氮(mg/L)	氨氮(mg/L)	硝氮(mg/L)	总磷(mg/L)	钾(mg/L)
江苏省 2011	[10]	6.88~8.04	400~900	704.6	8.7	3~100	100~500
浙江嘉兴 2014	[12]	7.95~8.96	1488~10109	1071~9081	33~360	1123~3318	36~167
浙江嘉兴 2014	[23]	7.57	4238.51	42.07	/	42.07	350
江苏南京 2018	[24]	7.87~8.57	111.2~3691	/	/	11.2~95.1	137.9~1755
湖南长沙 2013	[14]	7.3	987~1179	/	/	823~978	399~601
鄱阳湖(进贤) 2014	[16]	6.97	300	/	/	84	680
鄱阳湖(新余) 2014	[16]	7.47	640	/	/	100	4500
鄱阳湖(新干) 2014	[18]	8.05	680	/	/	150	1440
鄱阳湖(万年) 2007	[19]	8.04	680	/	/	86	3620
广西南宁 2014	[18]	6.89~7.05	367~968	/	55.76	88.9	343~484
重庆市涪陵区 2007	[19]	7.14~7.61	286.1~751.2	/	/	107~188	262.7~7805
重庆市沙坪坝 2007	[19]	7.62~8.60	142.8~552.3	/	/	31.6~115	361.5~1115
湖北天门 2012	[21]	7.71	1137~1299	/	/	22.9~42.7	/
长三角地区 2016	[22]	7.23~8.83	530~3240	430~2110	3.25~24	140~3230	120~540

可以看出沼液中的速效养分占很大的比例。如果能为沼液找到资源化利用的新途径,在更好地发挥沼气工程的能源与环境效益的基础上,还可以减少农田化学肥料的使用量,从而降低农业生产成本,提高农业生产的收益。

2.2. 2006~2017 年我国各地沼液液中的重金属含量

由表 2 中的数据可知,我国各地猪场沼液普遍都含有重金属。其中铜离子浓度范围在 0.006~44.3 mg/L;铁离子浓度范围是 0.90~57.4 mg/L;锰离子浓度范围是 0.033~6.21 mg/L;锌浓度范围是 0.1~33 mg/L;砷离子浓度范围是 0~13 mg/L;铅离子浓度范围是 0~27.41 mg/L;铬离子浓度范围是 0~7.5 mg/L;镉离子浓度范围是 0~3.24 mg/L;汞离子浓度范围是 0~0.0251 mg/L。

目前,我国对沼液中的重金属含量尚无统一的限量标准。将表 2 中沼液铜、锌、镉、铬、铅、砷和汞离子的含量进行归纳,列出各金属浓度值范围,于表 3 中,并列出国及德国相关重金属标准限值于表 3 中,进行对比。

Table 2. The content of heavy metal the biogas slurry from biogas project of large pig farm in China

表 2. 2006~2017 年我国大型猪场沼气工程沼液的重金属含量

地点	数据来源	大型猪场沼液中各重金属浓度值或浓度范围(mg/L)								
		铜	铁	锰	锌	砷	铅	铬	镉	汞
浙江嘉兴	[12]	3.5~27.4	10.1~57.4	1.26~6.21	6.0~33.0	3.37~13.0	0.14~0.29	/	0.011~0.034	/
浙江嘉兴	[23]	0.14	0.24	0.038	0.12	0.031	0.0073	0.0025	0.000095	0.00063
江苏南京	[24]	0.027~2.4455	0.0392~14.89	/	0.130~3.373	0.0047~0.122	0.0075~0.028	0.1583~0.2688	0.0001~0.0021	0~0.0004
湖南长沙	[14]	/	/	/	/	0.0226~0.053	0.012~0.056	0.0266~0.071	0.006~0.029	0.0018~0.0067
北京京郊区县	[15]	/	/	/	/	/	1.045	0.595	0.110	0.044
鄱阳湖(进贤)	[16]	0.061	/	/	0.37	0.073	19.80	0.0017	0.68	/
鄱阳湖(新余)	[17]	0.490	/	/	2.06	0.090	27.41	0.0050	2.84	/
鄱阳湖(新干)	[16]	1.860	/	/	9.29	0.064	36.07	0.0040	3.24	/
鄱阳湖(万年)	[16]	0.041	/	/	0.28	0.056	15.52	0.0110	2.55	/
江西省	[17]	0~1.605	/	/	0.811~8.380	/	0~0.412	/	0~0.0026	/
广西南宁	[18]	0.11~1.41	/	/	0.17~2.53	0.048~0.18	0.001~0.024	0.014~0.025	0.0001~0.003	0.0004~0.0012
成都	[13]	0.0602	/	0.0335	0.1860	0.3348	0.0112	0.1506	0.0002	0.0251
重庆沙坪坝	[19]	0.23~2.13	3.8~41.7	0.30~1.0	0.75~2.50	0.023~0.176	0.005~0.060	0.052~0.103	0.0025~0.010	0.0003~0.0013
重庆涪陵区	[19]	0.30~1.45	0.9~4.00	0.24~2.52	0.30~2.15	0.0613~0.401	0.00174~0.0125	0.0102~0.0735	0.0001~0.00204	0.0004~0.0016
长三角地区	[22]	1.74~44.2	/	/	2.86~64	0.04~6.2	0.09~1.56	0.03~7.5	0.02~0.24	0.002~0.036
广东广州	[20]	0.03~0.06	/	/	0.01~0.04	0.01~0.34	0~0.02	/	/	/
湖北天门	[21]	3.49	/	/	0.43~3.33	0.004	0.10~0.79	0.26	0.12~0.15	0.0001

Table 3. Comparison of heavy metal content in the biogas slurry of large pig farm in china and the national standard limits
表 3. 我国大型猪场沼液中重金属含量与相关国标限值的比较

元素名称	我国猪场沼液 重金属浓度值 范围(mg/L)	农田灌溉用水 标准[25] (mg/L)	无土栽培水源中重 金属及有毒有害物 质含量标准[26] (mg/L)	肥料中重金属的限 量指标[27] (mg/L)	有机-无机肥料 标准[28] (mg/kg)	德国腐熟堆肥 标准[29] (mg/L)
铜	0.006~44.3	1	0.1	/	/	100
锌	0.10~33	2	0.2	/	/	400
镉	0~3.24	0.01	0.005	0.001	50	1.5
铬	0~7.5	0.1	0.05	0.05	500	100
铅	0~27.41	0.2	0.05	0.02	/	150
砷	0~13	0.05	0.05	0.005	50	/
汞	0~0.0251	0.001	0.001	0.0005	/	/

由表 3 可知：表中列出的五个相关标准中，对铜和锌有限值的有三个标准，标准限值由大到小排序是：德国腐熟堆肥标准 > 农田灌溉用水标准 > 无土栽培水源中重金属及有毒有害物质含量标准。我国沼液中铜和锌的最大含量值要小于德国腐熟堆肥标准限值；没有达到我国农田灌溉用水标准；也没有达到我国无土栽培水源中重金属及有毒有害物质含量标准。

我国沼液中重金属镉，其最大值小于有机-无机肥料标准限值，但超过德国腐熟堆肥标准、农田灌溉用水标准、肥料中重金属的限量指标，以及无土栽培水源中重金属及有毒有害物质含量标准。

我国沼液中重金属铬，其最大值小于有机-无机肥料标准限值和德国腐熟堆肥标准，但超过农田灌溉用水标准、肥料中重金属的限量指标，以及无土栽培水源中重金属及有毒有害物质含量标准。

我国沼液中重金属铅，其最大值小于德国腐熟堆肥标准，但超过农田灌溉用水标准、肥料中重金属的限量指标，以及无土栽培水源中重金属及有毒有害物质含量标准。

我国沼液中重金属砷，其最大值小于有机-无机肥料标准限值，但超过农田灌溉用水标准、肥料中重金属的限量指标，以及无土栽培水源中重金属及有毒有害物质含量标准。

我国沼液中重金属汞含量，其最大值超过农田灌溉用水标准、肥料中重金属的限量指标，以及无土栽培水源中重金属及有毒有害物质含量标准。

2.3. 沼液中重金属对土壤及植物的影响

苗纪法等[30]通过盆栽控制灌溉实验，分层研究了大型猪场沼液重金属对所浇灌的土壤组分的影响。实验结果表明：沼液灌溉会对土壤中重金属含量造成影响，长期使用沼液灌溉，土壤中铜、锌、铅、镉等重金属会产生累积效应。黄宇民等[31]还利用盆栽试验研究了沼液灌溉种植莴苣对土壤水质的影响。实验结果表明，以施用常规化肥为对照，用不加稀释的沼液灌溉土壤时，土壤渗滤液中重金属的浓度显著升高，其中对于渗滤液中 Cr 元素其 P 值为 0.004，对于 Cd 元素其 P 值为 0.01，对于 Cu 元素其 P 值为 0.05；用原沼液稀释 30 倍后浇灌土壤时，土壤的渗滤液中铜离子和铬离子的含量升高，而锌离子和铬离子的含量没有显著升高趋势。叶晶等[32]发现沼液灌溉会改变莴苣中重金属铜和锌的含量，沼液施用量越大，莴苣体内重金属铜和锌的含量越大。只灌溉一个生长季的莴苣中重金属含量低于国家食品卫生标准。

3. 结论

我国大型猪场沼液具有以下特点：

- 1) 沼液中的悬浮物含量、酸碱度、及氮、磷、钾等大量元素浓度与沼气工程的运行时间有密切关系，

运行时间越长, 沼液组分的稳定性越好。同一沼气工程排出的沼液组分及含量, 季节和月份不同, 会有很大的差异。

2) 2006~2017年, 我国各地大型养猪场沼气工程中沼液, 其 pH 值范围在 6.89~8.83 之间, 其主要营养成分氮、磷、钾含量变化较大, 总氮浓度范围在 300~10,109 mg/L 之间; 总磷浓度在 3~3318 mg/L 之间; 钾浓度在 36~1755 mg/L 之间; 氨氮浓度范围在 42~9081 mg/L 之间, 硝氮浓度在 3.25~360 mg/L 之间。其中速效氮成分有利于植物快速吸收利用。

3) 2006~2017年间我国大型猪场沼液普遍都含有重金属。其中铜离子浓度范围在 0.006~44.3 mg/L; 铁离子浓度范围是 0.90~57.4 mg/L; 锰离子浓度范围是 0.033~6.21 mg/L; 锌浓度范围是 0.1~33 mg/L; 砷离子浓度范围是 0~13 mg/L; 铅离子浓度范围是 0~27.41 mg/L; 铬离子浓度范围是 0~7.5 mg/L; 镉离子浓度范围是 0~3.24 mg/L; 汞离子浓度范围是 0~0.0251 mg/L。我国沼液中重金属镉, 铬, 铅, 砷, 汞含量, 其最大值均超过农田灌溉用水标准、肥料中重金属的限量指标, 以及无土栽培水源中重金属及有毒有害物质含量标准。

4) 有实验表明稀释沼液灌溉改变了土壤中和种植的莴苣中重金属含量。

参考文献

- [1] 张剑波, 陶炜煜. 2017年国内生猪市场形势分析及2018年展望[J]. 农业展望, 2018, 14(5): 4-8.
- [2] 李兆华, 赵丽娅. 湖北农村环境保护对策与技术[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2014: 16-28.
- [3] 李水霞. 低碳经济背景下畜牧业发展中强化养殖污染治理的重要性分析[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2018, 34(4): 22-23.
- [4] Antonio Albuquerque, J., de la Fuente, C. and Pilar Bernal, M. (2012) Chemical Properties of Anaerobic Digestates Affecting C and N Dynamics in Amended Soils. *Agriculture Ecosystem Environment*, **160**, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.007>
- [5] Torrijos, M. (2016) State of Development of Biogas Production in Europe. *Procedia Environmental Sciences*, **35**, 881-889. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.043>
- [6] 徐慧, 韩智勇, 吴进, 施国中. 中德沼气工程发展过程比较分析[J]. 中国沼气, 2018, 36(4): 101-108.
- [7] 张钧. 规模畜禽养殖场大中型沼气工程发展探讨[J]. 农业科技与信息, 2016(8): 138.
- [8] Smith, J.L. and Elliot, L.F. (1990) Tillage and Residue Management Effects on Organic Matter Dynamics in Semi-Arid Regions. *Advanced Soil Science*, **13**, 69-88. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8982-8_4
- [9] 杨军香, 林海. 我国畜禽粪便集中处理的组织模式[J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(6): 148-152.
- [10] 靳红梅, 常志州, 叶小梅, 等. 江苏省大型沼气工程沼液理化特性分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 291-296.
- [11] Marcato, C.E., Pinelli, E., Pouech, P., Winterton, P. and Guisresse, M. (2008) Particle Size and Metal Distributions in Anaerobically Digested Pig Slurry. *Bioresource Technology*, **99**, 2340-2348. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.013>
- [12] 赵国华, 陈贵, 徐劼. 猪粪尿源沼液中主要养分和重金属的分布特性[J]. 浙江农业科学, 2014(9): 1454-1456.
- [13] 张云, 文勇立, 王永, 等. 养殖场沼液重金属元素的 ICP-OES 测定[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2014, 40(1): 24-26.
- [14] 聂莹, 曾晓楠. 以猪粪为原料的沼液成分分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(28): 11467-11468+11542.
- [15] 曲明山, 郭宁, 刘自飞, 等. 京郊大中型沼气工程沼液养分及重金属含量分析[J]. 中国沼气, 2013, 31(4): 37-40.
- [16] 黎鑫林, 熊忠华, 刘勇, 等. 鄱阳湖生态经济区沼肥养分及重金属状况研究[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(6): 1387-1392.
- [17] 杨涛, 李建国, 陈院华, 等. 畜禽养殖场沼液重金属含量现状及安全性分析[J]. 江西农业学报, 2017, 29(2): 63-66.
- [18] 魏世清, 蒲小东, 李金怀, 等. 猪场粪污厌氧发酵前后理化特性及重金属含量变化分析[J]. 中国沼气, 2014, 32(6): 40-43.

- [19] 钟攀, 李泽碧, 李清荣, 等. 重庆沼气肥养分物质和重金属状况研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(z1): 165-171.
- [20] 史艳财. 猪粪、沼液农用重金属和抗生素的生态风险及生物调控研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [21] 张玲玲. 生物浮岛技术用于养猪场沼液水培的试验研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 湖北大学, 2012.
- [22] 周杨, 章明奎. 长三角城郊区沼液化学组分特点及其农用重金属污染风险评价[J]. 中国农业通报, 2016, 32(20): 101-106.
- [23] 沈其林, 单胜道, 周健驹, 王志荣. 猪粪发酵沼液成分测定与分析[J]. 中国沼气, 2014, 32(3): 83-86.
- [24] 辛格, 高亚茹, 陈国松, 刘畅, 杨祝红, 陆小华. 沼液成分与重金属含量分析[J]. 化工时刊, 2018, 32(1): 9-16.
- [25] GB5084-2005. 农田灌溉水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [26] 王久兴, 宋士清. 无土栽培[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 11-12.
- [27] GB/T23349-2009. 肥料中重金属的限量指标[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [28] GB18877-2002. 中华人民共和国有机无机肥料国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [29] Verdonck, O. and Szmids, R.A.K. (1998) Compost Specifications. *Acta Horticulturae*, **469**, 169-177. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.469.16>
- [30] 苗纪法, 康群, 李兆华, 等. 沼液灌溉对土壤重金属的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(34): 13320-13322+13324.
- [31] 黄宇民, 康群, 李兆华, 等. 沼液灌溉对土壤渗滤液重金属含量的影响[J]. 绿色科技, 2014(5): 215-216+220.
- [32] 叶晶, 李艳蕾, 李兆华, 等. 沼液灌溉对茼蒿重金属含量及产量的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(7): 96-99.