

## 利用人工湿地栽种水生作物对沼液进行无害化消解

朱凤香, 王卫平, 陈晓阳, 洪春来, 吴传珍, 薛智勇\*

(浙江省农业科学院 环境资源与土壤肥料研究所, 浙江 杭州 310021)

**摘要:** 以茭白、莲藕和水稻等水生作物全生育期对沼液进行消解净化处理, 试验表明, 1 hm<sup>2</sup> 莲藕池塘在 1 个全生育期可消纳净化沼液 2 475 t, 所得莲藕符合 NY5238-2005 无公害食品水生蔬菜的要求; 不同水生作物净化沼液试验表明, 按 495 t·hm<sup>-2</sup> 的灌溉量, 茭白和莲藕只需 7 d 时间消解净化就可符合国家 GB18596-2001《畜禽养殖业污染物排放标准》要求, 水稻需要 14 d, 而无作物的空白处理则需 21 d。

**关键词:** 沼液; 茭白; 莲藕; 水稻; 水质

中图分类号: X 173

文献标志码: A

文章编号: 1004-1524(2011)02-0364-05

### Preliminary study on harmless digestion of biogas slurry by using aquatic plants grown on artificial wetland

ZHU Feng-xiang, WANG Wei-ping, CHEN Xiao-yang, HONG Chun-lai, WU Chuan-zhen, XUE Zhi-yong\*

(*Institute of Environment Resources and Soil Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China*)

**Abstract:** The harmless digestion of biogas slurry by water bamboo, lotus root and rice crops on wetland was studied. The results showed that 1 hm<sup>2</sup> pond of lotus roots could purify 2 475 t biogas slurry in a whole growth period. The lotus roots harvested from the pond met the standards of NY5238-2005 pollution-free foods of aquatic vegetables. Under the irrigation amount of 495 t·hm<sup>-2</sup>, the digestion time of water bamboo, lotus root and rice was 7, 7 and 14 d, respectively, which was in accord with the standard of livestock emission standards for livestock farming industry for national GB18596-2001; meanwhile, the control treatment without any plants was 21 d.

**Key words:** biogas slurry; water bamboo; lotus root; rice; water quality

养殖场排出的粪尿和冲洗畜禽舍的污水, 经过沼气工程的厌氧气化处理水质虽然有了很大改善, 化学需氧量(COD)和生化需氧量(BOD)显著下降, 特别是水色变浅、恶臭基本消除等<sup>[1]</sup>, 但养殖场污水中高浓度的氮(N)、磷(P), 经沼气工程处理后浓度依然较高, 沼液中的 N、P 含量仍

然超过国家 GB18596-2001《畜禽养殖业污染物排放标准》中规定指标<sup>[2]</sup>, 因此沼液必须进行再处理后才能达标排放。畜禽排泄物历来是我国农业生产的基本肥源。如果和工业污水一样采用环境工程设施处理沼液中的 N、P 污染物, 则处理成本较高, 会因运行费用过高而弃之不用。一个万头规模养殖场每天排出 80~100 t 的肥水, 如果完全依赖农作物进行浇灌消解, 需要配套大量的耕地加以消纳, 这在规模化养殖的东南沿海省份多数难以实现。为此, 我们针对沼液的性质, 研究提出科学实用的沼液快速消解处置技术, 即建立一定容积的沼液氧化塘进行曝气氧

收稿日期: 2010-09-03

基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX07101-006); 浙江省“三农五方”项目(SN200813); 浙江省重点项目(2008C12045-1)

作者简介: 朱凤香(1976-), 女, 助理研究员; 从事生物资源利用及农业环境保护研究。E-mail: zfx76@yahoo.com.cn

\* 通讯作者, 薛智勇, E-mail: zxyxb@126.com

化,然后将氧化的沼液作为肥水(营养液),在种植水生经济作物的人工湿地进行灌溉,进一步降解沼液中 COD 和 BOD,使大量的氮磷被作物吸收利用,沼液中的污染物进一步消解,进而实现达标排放<sup>[3-11]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验地点和土壤条件:试验设在湖州市一规模化养殖猪场所属田块。试验田前作为水稻田。

表 1 氧化塘随机采样所测得的沼液性状

Table 1 Properties of biogas slurry randomly sampled from oxidation pond

指标	8-16	9-21	10-02	10-12	10-20	11-01	11-17	11-25	12-12
COD <sub>cr</sub> /(mg·kg <sup>-1</sup> )	1230	1120	832	886	1070	1480	1440	1590	1560
总磷 TP/(mg·kg <sup>-1</sup> )	88.8	47.8	23.3	15.2	14.5	41.4	32.0	43.8	25.8
总氮 TN/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1208	917	735	760	1120	1340	1260	1440	1440

1.2.2 不同水生作物净化沼液试验:①茭白(25~30 cm 小苗移栽);②莲子藕(莲藕种移栽);③水稻(直播稻),以空白田沼液污灌区作为对照,水稻种植区、茭白种植区和莲子藕种植区的面积均为 300 m<sup>2</sup>,空白区(不种任何作物)为 80 m<sup>2</sup>。灌溉时间:茭白苗移栽后 15 d,莲子藕种移栽后 15 d,水稻直播后 25 d。灌溉水层深度 5 cm(浇灌量 495 t·hm<sup>-2</sup>),不进行施肥。

### 1.3 采样与测定<sup>[12,13]</sup>

pH 值、电导率、有机质、N、P、K、Cl 含量等按常规分析方法测定,重金属 Pb、Cd、Cu、Zn 含量用原子吸收分光光度法测定,As 含量用原子荧光光度计测定<sup>[7]</sup>。COD<sub>cr</sub>采用重铬酸钾氧化法,BOD<sub>5</sub>采用稀释和接种法,悬浮物(SS)采用重量法。

## 2 结果与分析

### 2.1 莲藕全生育期沼液灌溉消解净化后水质的变化

从表 2 可以看出养殖场废水经沼气工程处理后污染物大量减少,COD<sub>cr</sub>由原来养殖污水的 3 140 mg·L<sup>-1</sup>下降至 664 mg·L<sup>-1</sup>,5 d 生物耗氧量(BOD<sub>5</sub>)由 2 900 mg·L<sup>-1</sup>下降至 408 mg·L<sup>-1</sup>,SS

供试水生作物品种分别为:①茭白‘矮胖子’;②莲子藕为‘十里荷 1 号’;③水稻‘中浙优 8 号’。供农灌用沼液取自该养殖场排放废水沼气工程发酵后储存于氧化塘中沼液。

### 1.2 试验设计

1.2.1 全生育期沼液莲藕浇灌消解处理试验,试验面积 600 m<sup>2</sup>,以常规种植的莲藕为对照。试验莲藕采用全生育期不定期浇灌方式,每次浇灌约 5 cm,全生育期浇灌 5 次,始终维持 30~50 cm 水层,直到采收,以常规莲藕种植区产品为对照。莲藕采收时对莲藕塘水、藕和藕叶进行采样分析。

由 860 mg·L<sup>-1</sup>下降至 133 mg·L<sup>-1</sup>,但总 N、P 等下降幅度相对较小(<30%),其中 TN 由原来养殖污水的 1 300 mg·L<sup>-1</sup>下降至 983 mg·L<sup>-1</sup>,NH<sub>3</sub>-N 由 799 mg·L<sup>-1</sup>下降至 593 mg·L<sup>-1</sup>,TP 由 71.2 mg·L<sup>-1</sup>下降至 66.5 mg·L<sup>-1</sup>,Cl<sup>-</sup>由 253 mg·L<sup>-1</sup>下降至 198 mg·L<sup>-1</sup>。而经莲藕消解净化后,污染物大部分被去除,特别是 COD<sub>cr</sub>由沼液的 664 mg·L<sup>-1</sup>下降至 50 mg·L<sup>-1</sup>以下,BOD<sub>5</sub>由 408 mg·L<sup>-1</sup>下降至 10.9 mg·L<sup>-1</sup>,SS 由 133 mg·L<sup>-1</sup>下降至 16.7 mg·L<sup>-1</sup>,NH<sub>3</sub>-N 由 593 mg·L<sup>-1</sup>下降至 2.6 mg·L<sup>-1</sup>,TP 由 66.5 mg·L<sup>-1</sup>下降至 1.1 mg·L<sup>-1</sup>,去除率分别达到 98.41%,98.06%,99.68% 和 98.53%,减污净化效果显著,符合国家 GB18596-2001《畜禽养殖业污染物排放标准》。

### 2.2 莲藕全生育期沼液灌溉消解净化后水质重金属等变化

国标 GB5084-2005《农田灌溉水质标准》中规定,农田灌溉水要求 pH 5.5~8.5,Cd < 0.01 mg·L<sup>-1</sup>,Pb < 0.2 mg·L<sup>-1</sup>,Zn < 2 mg·L<sup>-1</sup>,Cu < 0.5 mg·L<sup>-1</sup>,Cr < 0.1 mg·L<sup>-1</sup>,As < 0.05 mg·L<sup>-1</sup>,Hg < 0.001 mg·L<sup>-1</sup>。从表 3 可以看出养殖场废水经沼气工程后沼液中重金属大量减少,除 Cd 和 As 含量稍高于《农田灌溉水质标准》外,其他

表 2 养殖污水经沼气和莲藕塘消解净化后的水质状况

Table 2 Water quality of livestock wastewater purified by biogas method and lotus pond digestion

排放水	pH	COD <sub>Cr</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	SS/ (mg·L <sup>-1</sup> )	总氮 TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	总磷 TP/ (mg·L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> / (mg·L <sup>-1</sup> )
养殖污水	8.0	3140	2900.0	860.0	1300.0	799.0	71.2	253.0
沼液	8.1	664	408.0	133.0	983.0	593.0	66.5	198.0
藕塘净化水	7.2	<50	10.9	16.7	4.7	2.6	1.1	36.5
减少量	—	3090	2889.0	843.0	1295.0	796.0	70.0	217.0
去除率/%	—	98.4	99.6	98.1	99.6	99.7	98.5	85.6

表 3 沼气和莲藕塘消解净化处理对养殖污水中重金属含量的影响

Table 3 Effects of lotus pond digestion and biogas method on heavy metal contents in livestock wastewater

处理	pH	Cd/(mg·L <sup>-1</sup> )	Pb/(mg·L <sup>-1</sup> )	Zn/(mg·L <sup>-1</sup> )	Cu/(mg·L <sup>-1</sup> )	T-Cr/(mg·L <sup>-1</sup> )	As/(mg·L <sup>-1</sup> )	Hg/(mg·L <sup>-1</sup> )
养殖污水	8.0	0.020	0.074	1.16	1.34	<0.25	0.019	未检出
沼液	8.1	0.014	0.018	0.29	<0.2	<0.25	0.052	未检出
藕塘净化水	7.2	0.004	0.004	<0.04	<0.2	<0.25	0.003	未检出

重金属含量都已符合农田灌溉水的标准,再经莲藕消解净化后,水中的重金属更低,Cd 和 As 浓度分别降为 0.004 mg·L<sup>-1</sup> 和 0.003 mg·L<sup>-1</sup>,达到农田灌溉水的标准,可以直接排放。

### 2.3 莲藕全生育期沼液灌溉消解净化后水质重金属等变化

NY5238-2005 无公害食品水生蔬菜中规定:As ≤ 0.5 mg·kg<sup>-1</sup>, Pb ≤ 0.2 mg·kg<sup>-1</sup>, Cd ≤ 0.05 mg·kg<sup>-1</sup>, Hg ≤ 0.01 mg·kg<sup>-1</sup>。从表 4 可以看出,沼液灌溉藕和叶中其他大部分重金属含量指标均比常规种植的稍高,但藕中 Pb 和 Hg 的含量比常规种植的低,而藕中 Cu 含量与常规种植的相近。尽管如此,除藕叶的 As 和 Hg 外,藕和藕叶其他各项重金属指标均符合 NY5238-2005 无公害食品水生蔬菜的要求。

### 2.4 沼液灌溉不同水生植物水质随时间的变化

国标 GB18596-2001《畜禽养殖业污染物排放标准》中规定,BOD<sub>5</sub> < 150 mg·L<sup>-1</sup>, COD<sub>Cr</sub> < 400 mg·L<sup>-1</sup>, SS < 200 mg·L<sup>-1</sup>, NH<sub>3</sub>-N < 80 mg·L<sup>-1</sup>, TP < 8.0 mg·L<sup>-1</sup>。由表 5 可以看出,沼液中 BOD<sub>5</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 本身符合排放标准;至于 COD<sub>Cr</sub>,茭白和莲藕处理 7 d 就达到排放标准,水稻需 14 d,空白需 21 d;而 SS 和 TP,除水稻需 14 d 外,其他 3 个处理只需 7 d 就达到排放要求。总体而言,茭白和莲藕的消解净化效果优于水稻。若以上指标均达到国家 GB18596-2001 排放标准,则

空白需 21 d,水稻需 14 d,茭白和莲藕仅需 7 d。因此,利用水生经济作物进行沼液农灌处理,可以加速沼液消解净化,增加土地承载量,减少化肥使用量,实现养殖污水达标排放的目的,还可以产生较好的经济效益。

## 3 讨论

本试验处理的沼气工程沼液 COD<sub>Cr</sub> 值大部分时间在 1 600 mg·L<sup>-1</sup> 以下,pH 中性到微碱性<sup>[14]</sup>。莲藕 1 年可消解净化沼液时间约 6 个月(5 月至 10 月;本试验全生育期指从莲藕种移栽至当年采收时间,约 3.5 个月)。如以 1 hm<sup>2</sup> 莲藕池塘在 1 个全生育期可消解净化 2 475 t 沼液计算,则 1 年可消解净化沼液 4 200 t。一个万头规模化养殖猪场以每 d 排出 80 t 养殖污水(沼液)计,沼液 COD<sub>Cr</sub> 值按 1 600 mg·L<sup>-1</sup> 计,以 2.1 节的沼液处理方式,在 5 月至 10 月期间需要约 3.44 hm<sup>2</sup> 农田即可全部消解产生的沼液,且所得莲藕符合 NY5238-2005 无公害食品水生蔬菜的要求。

不同水生作物对沼液消解净化能力不一样。以 495 t·hm<sup>-2</sup> 沼液的灌溉量为例,茭白和莲藕只需 7 d 时间消解净化就可符合国家 GB18596-2001《畜禽养殖业污染物排放标准》要求,而水稻需要 14 d,无作物的空白处理需 21 d。当水生作物的个体逐渐长大后,其自身对养分的需求还会

表4 莲藕沼液浇灌后其部分器官重金属的含量

Table 4 Content of heavy metals in the lotus root organs sampled from the pond irrigated by biogas slurry

处理		Cd/(mg·kg <sup>-1</sup> )	Pb/(mg·kg <sup>-1</sup> )	Cu/(mg·kg <sup>-1</sup> )	As/(mg·kg <sup>-1</sup> )	Hg/(mg·kg <sup>-1</sup> )
常规种植	莲藕叶	0.008	0.027	2.5	0.48	0.002
	藕	0.007	0.036	0.9	未检出	0.0030
沼液浇灌	莲藕叶	0.039	0.037	3.9	0.64	0.019
	藕	0.012	0.033	0.9	0.01	0.0018

表5 不同作物沼液灌溉处理对水质净化的效果

Table 5 Purified effect of different plants on irrigating biogas slurry

	农灌天数/d	COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	总氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	总磷/(mg·L <sup>-1</sup> )	SS/(mg·L <sup>-1</sup> )	铵态氮/(mg·L <sup>-1</sup> )
空白	0	750	105	279	26.6	295	53.5
	7	693	36	47	8.0	157	1.3
	14	428	35	31	5.2	48	11.8
	21	127	10	31	1.6	40	3.9
茭白	0	750	105	279	26.6	295	53.5
	7	377	22	31	4.97	148	1.7
	14	245	21	18	3.31	70	6.9
	21	114	4.2	16	3.5	32	4.4
莲藕	0	750	105	279	26.6	295	53.5
	7	310	30	22	4.46	66	1.6
	14	256	30	19	3.58	25	7.6
	21	142	14	13	2.29	21	5.5
水稻	0	750	105	279	26.6	295	53.5
	7	720	42	77	16.4	288	6.0
	14	166	22	35	3.65	88	5.7
	21	137	19	14	3.1	53	3.3

增大,因此污水净化能力更强,其再净化循环周期还可缩短。如果以茭白或莲藕作为水生作物对沼液进行消解净化,并且灌溉7 d后排放再灌溉,它们生育期按3.5个月计,则1 hm<sup>2</sup>茭白或莲藕池塘1个生育期可消解净化约7 500 t沼液。因此在茭白和莲藕种植期,一个万头规模化养殖猪场以每天排出80 t养殖污水(沼液)计,沼液COD<sub>Cr</sub>值按1 600 mg·L<sup>-1</sup>计,在5月至8月期间只需1.12 hm<sup>2</sup>农田即可全部消解产生的沼液,但所得茭白和莲藕是否符合NY5238-2005无公害食品水生蔬菜的要求则需进一步试验。

本试验采用水稻、茭白和莲藕等水生作物对养殖场沼液进行农田消解,使沼液中的COD,

BOD<sub>5</sub>,SS,TN,NH<sub>3</sub>-N和TP等得到进一步氧化,养分被水生经济作物吸收利用。合理的沼液灌溉量不仅可以减轻规模养殖场污水处理的排放压力,还可以减少农田化肥施用量,沼液变废为宝,对畜禽养殖业可持续发展具有重要意义。但是利用水生作物进行沼液消解净化还有几个问题亟需解决<sup>[15,16]</sup>:第一,如何结合冬闲田实现沼液周年循环利用;第二,沼液浓度对水生作物消解净化能力的影响;第三,沼液长期施用对土壤的影响;第四,沼液与化肥的如何配施,达到沼液消解净化与作物双赢目的。

## 参考文献:

- [1] 刘荣厚, 郝元元, 叶子良, 等. 沼气发酵工艺参数对沼气及沼液成分影响的实验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(S1): 85-88.
- [2] 杨金楼, 计中孚. 上海地区畜禽场大、中型沼气工程沼液液后处理技术调查研究[J]. 农业工程学报, 1993, 9(S0): 139-143.
- [3] 王珺, 柳世裘. 水生植物对富营养化水体的净化效应研究[J]. 杭州电子科技大学学报, 2008, 28(2): 82-85.
- [4] 钱江华. 水生植物对水体污染物的清除及其应用[J]. 河北农业科学, 2008, 12(10): 73-74.
- [5] 刘强, 尹丽, 方玉生. 四种水生植物对富营养化水体中磷去除效果的研究[J]. 井冈山学院学报(自然科学版), 2008, 29(12): 5-6.
- [6] 袁东海, 任全进, 高士祥, 等. 几种湿地植物净化生活污水COD、总氮效果比较[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2337-2341.
- [7] 吴建强, 黄沈发, 丁玲. 水生植物水体修复机理及其影响因素[J]. 水资源保护, 2007, 23(4): 18-22.
- [8] 胡绵好, 奥岩松, 朱建坤, 等. pH和曝气对水生植物去除富营养化水体中氮磷等物质的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 168-172.
- [9] 刘鹏, 俞慧娜, 张晓斌, 等. 几种水生观赏植物对城市污水的生理响应[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 163-167.
- [10] 方云英, 杨肖娥, 常会庆, 等. 利用水生植物原位修复污染水体[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 407-412.
- [11] 孙瑞莲, 张建, 王文兴. 8种挺水植物对污染水体的净化效果比较[J]. 山东大学学报(理学版) 2009, 44(1): 12-16.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [13] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [14] 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(S0): 165-171.
- [15] 倪亮, 孙广辉, 罗光恩, 等. 沼液灌溉对土壤质量的影响[J]. 土壤, 2008, 40(4): 608-611.
- [16] 王宗寿. 利用沼液种植黑麦草对土壤环境质量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(S0): 172-175.

(责任编辑 张 韵)

# 利用人工湿地栽种水生作物对沼液进行无害化消解

作者: [朱凤香](#), [王卫平](#), [陈晓昉](#), [洪春来](#), [吴传珍](#), [薛智勇](#), [ZHU Feng-xiang](#), [WANG Wei-ping](#), [CHEN Xiao-yang](#), [HONG Chun-lai](#), [WU Chuan-zhen](#), [XUE Zhi-yong](#)  
作者单位: [浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 浙江杭州, 310021](#)  
刊名: [浙江农业学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)  
英文刊名: [ACTA AGRICULTURAE ZHEJIANGENSIS](#)  
年, 卷(期): 2011, 23 (2)  
被引用次数: 5次

## 参考文献(16条)

1. 刘荣厚;郝元元;叶子良 [沼气发酵工艺参数对沼气及沼液成分影响的实验研究](#) 2006(z1)
2. 杨金楼;计中孚 [上海地区畜禽场大、中型沼气工程沼渣液后处理技术调查研究](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 1993(S0)
3. 王珺;柳世袭 [水生植物对富营养化水体的净化效应研究](#)[期刊论文]-[杭州电子科技大学学报](#) 2008(02)
4. 钱江华 [水生植物对水体污染物的清除及其应用](#)[期刊论文]-[河北农业科学](#) 2008(10)
5. 刘强;尹丽;方玉生 [四种水生植物对富营养化水体中磷去除效果的研究](#)[期刊论文]-[井冈山学院学报](#) 2008(12)
6. 袁东海;任全进;高士祥 [几种湿地植物净化生活污水COD、总氮效果比较](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2004(12)
7. 吴建强;黄沈发;丁玲 [水生植物水体修复机理及其影响因素](#)[期刊论文]-[水资源保护](#) 2007(04)
8. 胡绵好;奥岩松;朱建坤 [pH和曝气对水生植物去除富营养化水体中氮磷等物质的影响](#)[期刊论文]-[水土保持学报](#) 2008(04)
9. 刘鹏;俞慧娜;张晓斌 [几种水生观赏植物对城市污水的生理响应](#)[期刊论文]-[水土保持学报](#) 2008(04)
10. 方云英;杨肖娥;常会庆 [利用水生植物原位修复污染水体](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2008(02)
11. 孙瑞莲;张建;王文兴 [8种挺水植物对污染水体的净化效果比较](#)[期刊论文]-[山东大学学报\(理学版\)](#) 2009(01)
12. 鲁如坤 [土壤农业化学分析方法](#) 1999
13. 国家环境保护总局 [水和废水监测分析方法](#) 2002
14. 钟攀;李泽碧;李清荣 [重庆沼气肥养分物质和重金属状况研究](#)[期刊论文]-[农业环境科学学报](#) 2007(S0)
15. 倪亮;孙广辉;罗光恩 [沼液灌溉对土壤质量的影响](#)[期刊论文]-[土壤](#) 2008(04)
16. 王宗寿 [利用沼液种植黑麦草对土壤环境质量的影响](#)[期刊论文]-[农业环境科学学报](#) 2007(S0)

## 本文读者也读过(9条)

1. [“第二届中国国际生物质能源展”联合主办方](#) [德国沼气工程的发展状况和技术特点](#)[期刊论文]-[饲料与畜牧·规模养猪](#)2011(5)
2. [大力发展沼气工程推动农村生态家园建设](#)[期刊论文]-[农业知识\(致富与农资\)](#) 2011(1)
3. [董仁杰](#).[田世杰](#) [养猪场发展沼气工程效益探讨](#)[期刊论文]-[猪业科学](#)2011, 28(6)
4. [高慧](#).[王敏](#).[GAO Hui](#).[WANG Min](#) [Fenton-混凝法处理生活垃圾沼液试验研究](#)[期刊论文]-[工业用水与废水](#) 2010, 41(5)
5. [杨圣广](#).[卢婷婷](#) [大型沼气工程与污水处理联运模式的探讨](#)[期刊论文]-[科技致富向导](#)2011(8)
6. [余薇薇](#).[张智](#).[毕胜兰](#).[刘超](#).[YU Wei-wei](#).[ZHANG Zhi](#).[BI Sheng-lan](#).[LIU Chao](#) [改良型两级A/O工艺处理畜禽养殖场的沼液研究](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#)2011, 27(1)
7. [李文英](#).[彭智平](#).[杨少海](#).[吴雪娜](#).[林志军](#).[杨林香](#).[LI Wen-ying](#).[PENG Zhi-ping](#).[YANG Shao-hai](#).[WU Xue-na](#).[LIN Zhi-jun](#).[YANG Lin-xiang](#) [不同菌剂组合处理猪场沼液试验效果评价](#)[期刊论文]-[广东农业科学](#)2010, 37(11)
8. [罗明](#).[田鑫](#).[杨可](#).[梁运祥](#) [生物强化生态系统处理养殖沼液的研究](#)[期刊论文]-[养猪](#)2011(1)

9. 祝其丽, 李清, 胡启春, 罗安清, 青鹏, 潘科, ZHU Qi-li, LI Qing, HU Qi-chun, LUO An-qing, QING Peng, PAN Ke 猪场清粪方式调查与沼气工程适用性分析[期刊论文]-中国沼气2011, 29(1)

#### 引证文献(5条)

1. 闫园园, 李子富, 程世昆, 白晓凤, 周晓琴 养殖场厌氧发酵沼液处理研究进展[期刊论文]-中国沼气 2013(5)
2. 奚辉, 薛智勇, 陈喜靖, 姜丽娜, 王卫平 沼液不同灌溉量对茭白产量、品质及土壤肥力的影响[期刊论文]-浙江农业学报 2013(6)
3. 方志坚, 钱午巧, 包武 人工湿地处理畜牧场污水的研究进展[期刊论文]-安徽农学通报 2012(17)
4. 徐晓云, 余峰 畜禽养殖沼液深度处理技术研究与应用进展[期刊论文]-江西畜牧兽医杂志 2013(6)
5. 陈超, 阮志勇, 吴进, 高立洪, 宋金龙, 王彦伟, 徐彦胜, 韦秀丽, 徐凤花 规模化沼气工程沼液综合处理与利用的研究进展[期刊论文]-中国沼气 2013(1)

引用本文格式: 朱凤香, 王卫平, 陈晓昉, 洪春来, 吴传珍, 薛智勇, ZHU Feng-xiang, WANG Wei-ping, CHEN Xiao-yang, HONG Chun-lai, WU Chuan-zhen, XUE Zhi-yong 利用人工湿地栽种水生作物对沼液进行无害化消解[期刊论文]-浙江农业学报 2011(2)