

天然沸石在畜禽饲养及 粪便污染治理中的应用研究^{*}

韩 成¹⁾ 叶大年¹⁾ 鲁安怀²⁾ 姚光光³⁾ 严永鑫⁴⁾
刘成国⁵⁾ 唐军利⁵⁾ 朱桂珍⁶⁾ 韩玉璞⁶⁾

(1—中国科学院地质研究所, 北京 100029; 2—中国地质大学, 北京 100083; 3—北京市畜牧兽医总站, 北京 100088; 4—民盟北京市委, 北京 100034; 5—北京市畜牧环境监测站, 北京 102200;
6—北京市环境保护监测中心, 北京 100044)

主题词 天然沸石 畜禽饲料 粪便发酵

提 要 在畜禽饲料中添加适量的河北省赤城县所产的沸石矿粉, 不仅可使肉蛋产量有所增加, 提高饲料利用率, 降低生产成本, 而且可降低畜禽舍内的有害气体含量, 改善饲养人员的劳动环境, 并有益于畜禽健康。采用人工干清粪、沸石—好氧细菌发酵治理畜禽粪便工艺, 具有较大的技术和成本优势, 可以改善饲养场的周边环境, 对于水资源的保护和利用具有重要意义, 为畜禽粪便的污染治理与商品化生产提供了新的途径。

随着北京市郊区现代化、集约化畜牧生产的发展, 在满足广大人民群众对畜禽产品需求的同时, 畜禽粪便的再利用已成为突出的问题; 治理规模畜禽场粪便污染物对畜禽场自身及周围环境的污染, 也成为各方面普遍关注的问题。目前, 郊区畜禽场粪便治理的方法主要有: 化粪池化粪法、沼气法、生物低温发酵法、直接与农田结合的喷灌法及烘干制作复合肥法等, 虽然以上方法均取得了一定的效果, 但也都存在着不少弊病。

用天然沸石处理畜禽粪便, 其原理归咎于沸石的吸附和离子交换性能。它可以吸附氨、硫化氢等有害气体, 降低空气中有害气体的含量, 改善舍内及养殖场区周围的大气质量。沸石不仅可以抑制粪便中氨的挥发, 以固态形式把氨氮保留下来, 而且还能吸附磷和钾, 故可保持肥效, 利于作物增产。

将天然沸石应用于饲养场畜禽粪便的治理, 国外开始于 60 年代后期, 日本、前苏联、美国等国已将其广泛应用于生产实践, 并取得了良好效果^[1~4]。1976 年, 中国科学院地质研究所的科研人员在执行“沸石法海水提钾”的国家级研究项目中, 曾指导浙江省缙云县的农民利用小于 40 目的沸石粉处理家畜粪便, 在降低恶臭方面取得了较好效果, 深受当地群众欢迎。80 年代初, 叶大年、韩成等在北京市海淀区永丰鸡场、东升乡四道口鸡场的协助下, 开展了利用沸石进行对鸡舍除臭的模拟试验, 初试效果明显。1981 年, 黑龙江省牡丹江市饲料研究所的科研人员在鸡粪上撒盖 20%~30% 的沸石粉, 收到了脱水干燥、抑制氨挥发的效果。1983 年, 吉林农业大学等单位在鸡粪上撒布 12% 的沸石粉, 使鸡舍空气中的氨下

^{*} 本文得到北京市人民政府农林办公室资助

第一作者简介 韩 成, 1942 年生, 副研究员, 矿物学专业。

收稿日期 1999-07-30, 改回日期 1999-09-08

降了 20%~37%,二氧化碳下降了 9%~20%^①。

在民盟北京市委的建议下,北京市政府农林办公室于 1998 年 4 月立项,由中科院地质所、中国地质大学(北京)、市畜牧兽医总站、市畜牧环境监测站、市环保监测中心等单位的科研人员组成课题组,与朝阳区楼梓庄乡猪场、海淀区温泉镇鸡场、顺义区北郎中村猪场、昌平县南邵镇立新鸡场等单位合作,开展了利用天然沸石处理畜禽粪便污染物示范工程的试验研究。经过一年的努力,已取得良好效果。

本项试验所使用的沸石粉购自河北省赤城县沸石矿,沸石粉粒度小于 80 目,斜发沸石含量约 70%,沸石岩铵离子交换容量约为 150 mmol/100g。

1 猪饲料中添加沸石粉与饲养效果和舍内环境

1.1 饲养试验

(1) 朝阳区楼梓庄乡猪场秋季试验 时间为 1998 年 8 月 11 日~1998 年 11 月 3 日,共 84 天。具体实验条件见表 1。

表 1 楼梓庄乡猪场饲养试验条件

Table 1 Experimental conditions of feeds in Louzizhuang pig farm

试验猪品种及分组	试验季节	试验猪头数		猪舍结构	采食及饮水	清粪工艺	日粮中沸石添加量	
		试验组	对照组				预试期	正式试
三元杂交商品猪;选择出生日龄相近发育正常体重相当的,实行窝内随机两两分组	秋季	54	54	密闭式有窗横向双列砖木结构式猪舍	在条状食槽采食,用鸭嘴式饮水器饮水	人工干清粪,每日两次	预试期(前 10 天) 3%	正式试
	冬季	59	60	密闭式有窗纵向双列(冀县式)猪舍			5%	验期

试验组采用 95% 育肥前期料加 5% 沸石粉^[5],对照组采用 100% 育肥前期料。因条件所限,两组猪在同一猪舍,试验组居东,对照组居西。试验开始当日及试验结束当日早 8 时空腹称量个体体重,试验期间逐日记录猪成活、饲料等情况。

测定结果表明,整个试验期内,与对照组相比,沸石试验组猪平均日增重提高 0.57% ($P^{②} > 0.05$),饲料利用率提高 5.18%,每公斤增重饲料成本降低 3.49%,可节支 0.185 元,全程平均每头猪可节支 11.50 元。并且商品猪达 90 kg 出栏体重日期提早 3.94 天,可节省饲料 9.50 kg,节支 15.34 元。两项合计,每头猪可降低成本 26.84 元,具有明显的经济效益。

(2) 朝阳区楼梓庄乡猪场冬季试验 时间为 1998 年 12 月 10 日~1999 年 3 月 15 日,共 95 天,实验条件见表 1。对照组基础日粮配方分为三个阶段,详见表 2。试验组日粮是在

① 方有礼.天然沸石在畜牧及水产养殖中的利用价值.黑龙江地质情报,1988,2:15~21.

② 在生物试验结果统计中,某一随机事件发生的概率大小用 P 来表示,例如本试验中若 $P > 0.05$ 表示没有效果; $P < 0.05$ 表示有效果; $P < 0.01$ 表示试验特有效果。

对照组基础日粮中用 5% 沸石粉替代原配方中 5% 的玉米所构成。

表 2 对照组基础日粮配方及营养水平(%)

Table 2 Basic daily feed composition and nutritional standard of control group

日粮成分	各成分含量/ %		
	育肥前期	育肥后期(I)	育肥后期(II)
玉米	65	61	65
豆饼	—	25	20
麸皮	15	10	15
料精(粗蛋白 38%)	20	—	—
4% 预混料	—	4	—
消化能(MJ/kg)	3.080	3.160	3.257
粗蛋白(%)	15.06	16.92	15.86

试验期间猪群采食正常,精神状态良好。因气候关系,试验组和对照组的猪都曾发生过腹泻,但试验组腹泻较轻。测定结果表明,两组猪试验期初平均个体重差异不显著($P > 0.05$),期末平均个体重差异显著($P < 0.05$);沸石试验组与对照组相比,平均日增重多 32g,提高 4.61%,检验差异极显著($P < 0.01$);每公斤增重减少饲料 0.11 kg(含沸石粉),饲料消耗降低 3.17%,节支 0.23 元,全程平均每头猪节支 15.85 元。另外,商品猪达 90 kg 出栏体重日期提前 3.31 天,可节料 8.07 kg,节支 10.73 元。两项合计,每头猪可节支 26.58 元。该数据与秋季试验结果相当吻合。

(3) 顺义区北郎中村养殖小区冬季试验 养殖户址为小区最北头中间一栋(姚淑芹家猪舍)。时间为 1998 年 11 月 1 日至 1999 年 1 月 13 日,共计 74 天。试验猪为杂交商品猪,共 12 头,其中试验组 5 头,对照组 7 头。对照组日粮组成:玉米 66%,料精 19%,麸皮 15%;试验组日粮组成:玉米 61%,料精 19%,麸皮 15%,沸石 5%。

试验结果表明,试验组日增重 851 ± 57 g,料肉比 3.326;对照组日增重 814 ± 61 g,料肉比 3.680。试验组日增重比对照组多 37 g,提高 4.55% ($P > 0.05$,差异不显著)。每公斤增重节约饲料 0.354 kg,若按育肥期每头猪平均增重 60 kg 计算,则全程可节料 21.24 kg,经济效益比较明显。

笔者还对几户进行了非正规饲喂沸石粉试验,用户普遍反映饲喂沸石粉可治疗肠道疾病,冬季猪舍内氨味可明显降低,粪便具疏散感。

1.2 舍内环境监测

监测地点:顺义区北郎中村养殖小区。

监测时间:1999 年 1 月 2 日及 1999 年 1 月 26 日。

试验猪舍情况:猪舍属砖瓦木梁结构,南面朝阳,半封闭式,有塑料大棚遮顶,天气寒冷时封闭,暖和时塑料棚可打开,整栋猪舍为东西走向。选择第一栋养殖户张国家猪舍(饲料中添加 3% 沸石)和第四栋养殖户陈利山家猪舍(饲料中未加沸石)进行小环境监测,并采集粪便样,测定其含水率,监测结果列于表 3。

表 3 中所列 1 月 26 日的监测结果数值明显高于 1 月 2 日,原因在于天气寒冷,数日未揭开塑料棚,导致舍内环境质量下降。

从两次监测数据可以看出,饲料中添加沸石的试验组猪舍环境明显优于对照组,舍内空

表 3 北郎中养殖小区猪舍小环境监测

Table 3 Microenvironment monitoring of pig house in the small breeding sector of Beilangzhong village

组别	取样点	1 月 2 日			1 月 26 日		
		NH ₃ / (mg·m ⁻³)	H ₂ S/ (mg·m ⁻³)	粪便含水率/ %	NH ₃ / (mg·m ⁻³)	H ₂ S/ (mg·m ⁻³)	粪便含水率/ %
沸石组	F ₁	0.588	3.42	64.9	0.912	3.90	69.5
	F ₂	0.608	3.52	65.8	1.10	3.94	71.2
	平均	0.598	3.47	65.4	1.01	3.92	70.4
对照组	D ₁	1.584	3.83	67.0	1.53	4.21	72.7
	D ₂	1.948	3.96	67.9	2.00	4.34	74.2
	平均	1.766	3.90	67.4	1.76	4.28	73.4

气中 NH₃ 浓度降低 40%~60%, H₂S 浓度平均降低 10% 左右, 粪便含水率降低 3%~4%。饲料中添加沸石对改善猪舍环境的效果, 通过饲养人员、监测人员直观嗅觉和感受也可明显体验出来。

2 蛋鸡日粮中添加沸石粉及粪便池内布撒沸石粉

试验地点为海淀区温泉镇鸡场。日粮中添加沸石粉时间为 1998 年 7 月 16 日~1998 年 10 月 25 日, 共 102 天。鸡舍粪便池内布撒沸石粉时间为 1998 年 7 月 16 日~1998 年 8 月 26 日, 共 40 天。两项试验在同一鸡舍内重叠进行, 设一个对照组。

选择的初始鸡群为 53 周龄的“种禽褐”蛋鸡, 将鸡舍条件相同的两栋鸡群随机分成两组, 每组鸡存栏 5 000 只左右。日粮处理试验组采用 100% 蛋鸡 I 号料, 外加 3% 沸石粉; 对照组采用 100% 蛋鸡 I 号料。预试期 7 天, 试验组蛋鸡日粮中添加 1% 沸石粉, 试验正式开始后沸石粉量增至 3%^①。主要测定项目有日产蛋量、料蛋比、月死淘率等项指标。

饲养试验结果表明, 两组鸡群日产蛋差异不显著 (P>0.05), 与对照组相比, 试验组日产蛋平均提高 1.43% (即全程每只鸡多产蛋 69 g), 料蛋比降低 1.2% (P>0.05), 月死淘率

降低 7.73%。按全程每只鸡产蛋 15 kg、料蛋比 2.4:1 计算, 则每只鸡可节料 0.43 kg, 节支 0.69 元。对于规模为 5 万只的蛋鸡场而言, 若采用沸石添加剂, 预测仅降低死淘率一项, 就可少死淘 1 159.5 只鸡, 因此而增产的鲜蛋达 17.39 t, 具有明显的经济效益。

根据鸡场隔两日清粪一次的作业情况, 除清粪当日不撒沸石粉外, 每日上午往粪便池内撒一层沸石

表 4 鸡舍粪池布撒沸石粉的环境效果
Table 4 Environmental effect of the dusting
of zeolite powder in droppings pit of
chicken hutch

组别	取样点	鸡舍空气中 H ₂ S 浓度 /(mg·m ⁻³)	粪便含水率/%
沸石组	S ₁	2.36	71.7
	S ₂	2.80	72.6
	平均	2.58	72.2
对照组	D ₁	4.25	73.6
	D ₂	4.72	75.7
	平均	4.48	74.6

① 姚光光. 蛋鸡日粮中添加沸石效果研究, 1989.

粉,用量约为粪便的20%(即一栋5100只蛋鸡的鸡舍,每次布撒160 kg沸石粉);对照组不撒沸石粉。1998年8月26日上午进行监测,其结果见表4。

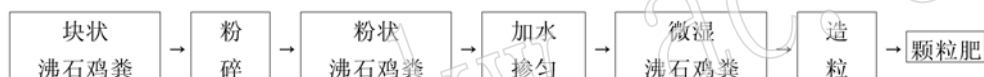
从表4中可见,鸡舍粪便池内布撒沸石粉有利于改善舍内空气质量,并使粪便含水率有所降低。

3 利用沸石粉处理鸡和猪粪便试验

3.1 舍外鸡粪中掺拌沸石粉试制颗粒肥

试验地点为海淀区温泉镇鸡场。1998年8月底至9月上旬,在鸡舍外空地上堆放的鲜鸡粪中掺入10%左右的沸石粉,白天摊开日晒,为防雨,夜间堆起并用塑料布盖好。鲜鸡粪中掺入沸石的试验组与不掺沸石的对照组相比,前者3天晒干,而后者则需要4天。另据场长介绍,粪便中掺入沸石后,粪便周围空气中的恶臭程度有所降低。

为了探讨粪便商品化处理的可能性,进一步开展了用经沸石粉处理过的鸡粪制作颗粒肥的试验,其工艺流程为:



在制颗粒肥的过程中可直观地感觉到,该造粒工艺散发出的氨味淡,车间操作环境优于不加沸石的工艺。从沸石-鸡粪自然晒干、机器造粒的试验过程来看,可操作性较强。

3.2 猪粪便的治理

为了实现粪便封闭处理的目的,自行设计并修建了粪便发酵池。其规格为池内宽3 m,长6 m,池北墙高1.2 m,南墙高0.9 m,池一侧安装铁门,池底部滤沟宽12 cm,沟深约5 cm,垅宽24 cm,滤沟下部铺上直径约为2~3 cm的河卵石,上部铺直径为2~4 mm的沸石滤砂。发酵池上方可架设塑料膜,夏季用于防雨,冬季用于保温。发酵池外设排水沟,通入污水池,排水沟及污水池均可加盖。

表5 楼梓庄乡猪场场区恶臭浓度(嗅觉法)监测数据

Table 5 Monitoring data on foul smell concentration of the environment of Louzizhuang pig farm

样号	采样地点	臭气浓度	
		治理前(8月20日)	治理后(10月29日)
1	场区北门	30.5	1.5
2	场区西	30.5	1.5
3	办公区	305	3.2
4	粪堆	1100	15.5

1998年10月10日开始往发酵池内装粪,每次堆粪完毕,即在粪便上部撒一层沸石粉,直到池内堆满为止(大约有十多立方米猪粪)。10月29日观察,并对猪场环境进行监测,其结果见表5。虽然已接近秋末,气温有所下降,恶臭的扩散程度已不及盛夏,但利用发酵池将粪便封闭起来,实现了粪便封闭处理,是恶臭浓度降低的主要原因。

通过初步试验,作者认为采用发酵池处理粪便确实可达到改善环境质量的目的,但也存在以下几个问题:

(1) 由于粪便含水量较大,使堆粪的高度受到限制,发酵池只能向水平方向延展,即发酵池所占的面积比较大;

(2) 靠自然堆放发酵所需时间比较长,限制了发酵池的周转利用次数;

(3) 受传统观念的影响,养殖人员不愿在粪便治理方面多下功夫、多投入,对发酵池冬季保温进而增温还难以被人们所接受。

4 沸石-菌种发酵畜禽粪便工艺初探

为了克服发酵时间过长、发酵池所占面积较大的缺点,并且使畜禽粪便治理与商品化密切结合起来,今年春季又开展了沸石-好氧细菌发酵试验,将沸石法与好氧细菌发酵技术嫁接,创造出了一种新型的畜禽粪便治理工艺。

4.1 猪粪便的治理

本试验是在朝阳区楼梓庄乡猪场进行的,第一次试验时间为1999年4月9日,操作过程如下:(1)收集新鲜猪粪约 1.5 m^3 ,粪便表面撒一层沸石粉(约60 kg);(2)将30 kg发酵菌种^①与10 kg细稻壳粉拌匀,再与约25 kg粗稻壳混匀;(3)将拌有稻壳的发酵菌种撒在猪粪上面,人工翻腾三遍,混合均匀,堆放发酵;(4)每日翻腾一次,以利于供氧。

因初试经验不足,物料碳氮比过低^[6],发酵粪体温度升至 $37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后不再上升,4月16日补加25 kg稻壳,并继续每日翻腾一次,粪体温度重新上升。表6中列出了每日上午10:00~10:30及下午3:30~4:00之间各测一次的粪体温度。

开始发酵时,若起始温度在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,而且物料配比适宜,大约半个月就可完成一个发酵周期。我们在进行第二周期发酵时,也因辅料用量不足,初期粪体温度在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右徘徊,后补加些辅料,粪体温度才又重新上升。

表6 发酵猪粪粪体温度状况

Table 6 Rise and fall conditions of the temperature of fermentative pig manure heap

日期	温度/ $^{\circ}\text{C}$		日期	温度/ $^{\circ}\text{C}$		日期	温度/ $^{\circ}\text{C}$	
	上午	下午		上午	下午		上午	下午
17	38	42	22	61	58	27	46	45
18	41	45	23	56	55	28	47	46
19	57	62	24	51	50	29	46	45
20	66	68	25	48	46	30	45	45
21	70	65	26	46	46			

4.2 鸡粪便的治理

试验是在昌平区南邵镇立新鸡场进行的,试验开始时间为1999年6月3日,具体操作如下:(1)收集新鲜鸡粪 1.0 m^3 ,粪便表面撒一层沸石粉(65 kg);(2)将30 kg发酵菌种^②与65 kg谷糠混匀;(3)将拌有谷糠的发酵菌种撒在鸡粪上面,人工翻腾三遍,混合均匀堆放发酵;(4)每日下午2:00~3:00之间测量粪体温度(结果见表7),然后翻腾一次。6月18日观察,发酵效果很好。

① 菌种由北京市精工粮机厂提供。

② 菌种由北京市土肥站提供。

表7 发酵鸡粪粪体温度变化(℃)

Table 7 Variation in temperature of fermentative chicken droppings heap

日期	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
温度	30	35	36	36	36	39	43	48	58	60	70	68	67	69	68	62

首次进行粪便发酵时需添加较大量的发酵菌种,以缩短发酵反应时间,以后的粪便发酵则可将前面已发酵过的粪料作为“面肥”掺入到新的粪便中即可,若干周期后可适量补充些发酵菌种。

发酵好的粪料可利用太阳晒干,以利于储存和运输。对于鸡粪料还可以粉碎后造粒,提高商品化程度。

笔者认为沸石在该工艺中可起到如下作用:(1)由于沸石的吸附性能,减少氨的挥发,保持了一定的肥效,还降低了粪便所散发出的恶臭,改善了操作人员的劳动环境;(2)降低了粪便的粘度,使物料易于混合均匀;(3)掺有沸石的有机肥施入土壤,有利于土壤改良,可提高土壤保肥、供肥、保墒的能力。

5 结 论

(1)在育肥猪及蛋鸡日粮中分别添加5%和3%的沸石粉,不仅可提高肉蛋产量和饲料利用率,增加畜禽抗病能力、降低生产成本,具有较好的经济效益,而且有助于改善舍内空气质量,既改善了饲养人员的劳动环境又有益于畜禽健康,同时还对以后粪便的治理与利用提供了良好条件。该方法简便易行,便于推广,可同时获得经济和环境双重效益。

(2)在蛋鸡舍粪便池内直接撒入适量沸石粉,可降低舍内有害气体含量,改善鸡舍空气质量,并使粪便含水率有所降低。

(3)舍外鸡粪便中直接掺入适量沸石粉,有利于鸡粪的自然干燥。利用自然干燥的沸石-鸡粪试制颗粒肥的工艺是可行的,为规模蛋鸡场鸡粪治理与商品化提供了一条有效途径。

(4)采用人工干清粪,发酵池封闭条件下沸石覆盖-自然发酵法治理猪粪,可有效地改善养殖场周围的环境,并可节水。该方法简便易行,但存在着发酵池占地面积较大,自然发酵时间较长的缺点。

(5)干清、沸石-好氧细菌发酵处理畜禽粪便工艺,综合各家之长,具有较大的技术和成本优势,不仅可以改善饲养场周围的环境,而且对于水资源的利用与保护具有重要意义。在畜禽粪便的污染治理与商品化生产方面具有应用价值。

(6)在农牧业中广泛推广应用天然沸石,将养殖业-环境保护-种植业有机结合起来,创立沸石农业系统工程,将有助于实现农牧业的可持续发展。同时也为广大沸石矿区人民脱贫致富带来了机遇。

参 考 文 献

- 1 Onogi T. Treating experiments on chicken droppings with zeolitic tuff powder. Rept. Yamagato Stock Raising Inst., 1966, 99: 7~ 18.

- 2 Miner J R. Use of natural zeolites in the treatment of animal wastes. In: Pond W G and Mumpton F A(ed), *Zeol_Agriculture*. Westview Press, 1984, 257~ 262.
- 3 Marton A, Marculescu R. Natural zeolites: swine waste water treatment and biomass production. In: Kallo D, Sherry H S, Akademiai Kiado (ed), *Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites*. Budapest, 1988, 729~ 736.
- 4 Andrews R D, Neumann M R, Nyenhuis J. Review of swine waste management options using natural zeolites. *Zeolite'93*. 4th International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites, Program and Abstracts. Boise, Idaho, 1993, 36~ 37.
- 5 韩 成, 叶大年, 任秀英, 阎瑞章. 天然沸石在猪、肉鸡饲料中应用效果试验研究. *畜牧与饲料*, 1986, 10~ 11, 24~ 29.
- 6 中国农业大学, 上海市农业广播电视学校, 华南农业大学等编著. *家畜粪便学*. 上海: 上海交通大学出版社, 1997.

The Use of Natural Zeolite in the Feed and the Treatment of Animal Wastes

Han Cheng¹, Ye Dania¹, Lu Anhuai², Yao Guangguang³, Yan Yongxin⁴,
Liu Chengguo⁵, Tang Junli⁵, Zhu Guizhen⁶, Han Yupu⁶

(1—Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029; 2—China University of Geosciences, Beijing 100083; 3—General Station of Beijing Animal Husbandry and Veterinary, Beijing 100088; 4—Beijing Committee of the Democratic League of China, Beijing 100034; 5—Beijing Animal Environment Monitoring Station, Beijing 102200; 6—Beijing Environmental Protection Monitoring Center, Beijing 100044)

Key words: natural zeolite; feed; animal waste; fermentation

Abstract

The adding of suitable amounts of zeolitic tuff powder from Chicheng County in Hebei Province to animal feeds can increase the output of meat and egg, raise the effect of feed utilization, and reduce production costs. The measure may reduce content of harmful gas in animal house, help to improve microclimate in the house, benefit animal health, and better labor environment of stockmen. Using artificial dry clearing away of excrements and zeolite_aerobic bacteria fermentation, the technology for treating animal waste possesses remarkably favorable conditions in technique and cost. Being of great significance not only in the improvement of the environment of the farm but also in the protection and application of water resources, this technology will provide a new method for the treatment and commercialization of animal wastes.