

研究报告

# 规模化畜禽养殖场污染防治技术研究\*

卞有生, 金冬霞

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

**[摘要]** 规模化畜禽养殖场污染防治是当前我国农业环境污染整治的重点, 也是解决农业面源污染的关键。在深入调查研究的基础上, 结合国内外成功的经验, 研究并提出农村规模化畜禽养殖场污染的防治技术, 包括养殖场固体粪污处理及资源化利用技术, 养殖场污水处理及综合利用技术和畜禽养殖场的除臭技术。对常用技术如厌氧-好氧联合处理, 生态工程处理技术均做了介绍和评价。

**[关键词]** 养殖场污染防治; 固体粪污处理; 养殖场污水处理; 除臭技术

**[中图分类号]** X71 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)03-0053-05

养殖业发展水平是衡量一个国家和地区现代化水平的标志。养殖业的发展不仅丰富市场供应, 富裕农民, 更重要的是促进农村产业结构的调整, 为实现农业现代化起到了十分重要的作用。但另一方面养殖业特别是规模化养殖业的发展, 必然带来严重的环境污染问题<sup>[1]</sup>。以北京为例, 1999年规模化畜禽养殖场共产生畜禽粪便  $304.42 \times 10^4$  t, 相当于北京市城市生活垃圾产生量。污水产生量达到  $765 \times 10^4$  t, 所有畜禽粪便的污水大部分均未经处理而就地排放, 对北京市地表水、地下水、土壤、大气造成了严重影响<sup>[2]</sup>。如何治理规模化畜禽养殖产生的畜禽粪尿污染, 是当前我国农村环境污染防治的重点。笔者在广泛、深入、全面调查的基础上, 结合国内外成功的经验, 研究并提出农村规模化畜禽养殖污染的防治技术。

## 1 固体粪污处理及资源化利用技术<sup>[3]</sup>

### 1.1 干清粪工艺

我国规模化养殖场目前主要清粪工艺有水冲式、水泡粪和干清粪三种。水冲式、水泡粪清粪工艺耗水量大, 并且排出的水和粪尿混合在一起, 给后处理带来很大困难, 而且固液分离后的干物质肥

料价值大大降低。

干清粪工艺粪便一经产生便分流。可保持舍内清洁, 无臭味, 产生的污水量少, 且浓度低, 易于净化处理; 干粪直接分离, 养分损失小, 肥料价值高, 经过适当堆制后, 可制作出高效生物活性有机肥。因此, 实现干捡粪, 粪水分离, 分别处理是降低处理成本, 提高处理效果的最佳方案。

### 1.2 畜禽固体粪污处理技术

通过干捡粪工艺得到的畜禽固体粪便中含有大量的有机质和氮磷钾等植物必需的营养元素, 也含有大量的微生物和寄生虫, 必须经过无害化处理, 消灭病原微生物和寄生虫(卵), 才能应用。

常用的处理方法有干燥处理、堆肥化处理、燃烧处理、沼气发酵等。

**1.2.1 干燥处理** 常见方法有太阳能大棚自然干燥、高温快速干燥、烘干膨化干燥、热喷微波干燥等。干燥后的畜禽粪便可加工成颗粒肥料, 或作为畜禽的饲料。

太阳能大棚干燥能充分利用自然条件, 成本较低, 但太阳能干燥的速度太慢, 且占地面积较大。微波干燥法、高温烘干法等虽然干燥速度快, 可批量生产, 杀菌、除臭熟化快, 但能耗高, 投资大,

[收稿日期] 2003-04-04

[作者简介] 卞有生(1937-), 男, 江苏镇江市人, 北京市环境保护科学研究院研究员

\*北京市科委2000年度重点研究课题

且部分方法在干燥过程中易产生恶臭气体。因此,从目前掌握的情况看,畜禽粪便干燥处理尚无较完善的技术。各规模化养殖场尤其是养鸡场只能根据自己的资金情况及所拥有的土地面积,适当地选择相应的干燥技术。

**1.2.2 堆肥化处理** 传统的堆肥为自然堆肥法,无需设备和耗能,但占地面积大、腐熟慢、效率低。现代堆肥法(以下称堆肥法)是根据堆肥原理,利用发酵罐(塔)等设备,为微生物活动提供必要条件,可提高效率10倍以上,堆制时间减少到25天至6天。

堆肥法比干燥法具有省燃料、成本低、发酵产物生物活性强、粪便处理过程中养分损失少且可达到去臭、灭菌的目的,处理的最终产物臭气较少,且较干燥,容易包装、撒施。故对于畜禽场的干粪和由粪水中分离出的干物质,进行堆肥化处理是最佳的固体粪便处置方式。

笔者认为在一定范围内成立专业的有机肥生产中心是比较有利的。在农村大量用肥季节,养殖场的固体粪污可以通过各自养殖场的分散堆肥处理直接还田,而在用肥淡季,有机肥生产中心可将附近养殖场多余的固体粪便收集起来,采用好氧性集中堆肥发酵干燥的方法制作优质复合肥,或加工成再生饲料。

### 1.3 畜禽粪便资源化利用途径<sup>[4]</sup>

畜禽粪便含有丰富的有机物质,经过适当处理,可成为肥料、饲料、燃料等资源,不仅可解决农村污染问题,而且可提高农村的经济、社会、生态效益,促进农业可持续发展。

对于农业生产来说,无论过去、现在和将来,畜禽粪便都是一种优质的有机肥源。畜禽粪便处理后用作肥料,是资源化利用的根本出路,也是世界各国最常用的办法。至今,国内绝大多数畜禽粪便都是作为肥料予以消纳的。

鸡的肠道短,饲料消化率低,鸡粪中残留其他动物可利用的蛋白质等有机物。鸡粪的资源化利用主要是作饲料和肥料。从烘干鸡粪的营养和卫生指标来看,烘干鸡粪可以安全地用作饲料。而鸡粪用作肥料更为普遍,鸡粪富含有机质,对改善土壤结构,增加作物产量,提高产品品质有重要作用。至于猪粪、牛粪的资源化利用还是以肥料化利用为宜。

## 2 养殖场污水处理及综合利用技术<sup>[5]</sup>

畜禽养殖场特别是大中型养猪场废水处理难度很大,一是由于大多数猪场都是采用漏缝板式的栏舍,水冲式清粪,排水量大;二是冲洗栏舍的时间相对集中,冲击负荷很大;三是粪便和污水量大且集中,而农业生产是季节性的,周围农田无法全部消纳;四是废水固液混杂,有机质浓度较高,而且粘稠度很大;五是养猪业属微利行业,受到自然与市场的双重风险的影响,不可能投入很多资金用于处理废水,也难以承受过高的废水处理运行费用。

因此,要使废水得到科学处理,必须研究出投资少、运行成本低、处理效果好、管理方便的技术,包括工艺流程、处理装置和综合利用技术等。

养殖场有机废水的处理方法有很多种,目前常采用的方法有自然生物处理法、好氧处理法、厌氧处理法、厌氧—好氧联合处理法、生态工程—沼气工程处理法等。

### 2.1 自然生物处理法

利用天然的水体和土壤中的微生物来净化废水的方法称自然生物处理法。主要有水体净化法和土壤净化法两类。属于前者的有氧化塘(好氧塘、兼性塘、厌氧塘)和养殖塘;属于后者的有土地处理(慢速渗滤、快速渗滤、地面漫流)和人工湿地等<sup>[6]</sup>。自然生物处理法投资小,动力消耗少,对难生化降解的有机物、氮磷等营养和细菌的去除率都高于常规二级处理,其建设费用和处理成本比二级处理厂低得多。此外,在一定条件下,氧化塘和污水灌溉能对废水资源进行利用,实现污水资源化。该方法的缺点是占地面积大,净化效率相对较低。在附近有废弃的沟塘、滩涂可供利用时,应尽量考虑采用此类方法。

污水灌溉农田,也是一种污水的自然生物处理法,是污水在土壤中的自净过程,具有农业上和污水处理上的双重目的和意义。但污灌时要对灌溉水量和浓度进行控制,否则污水会污染土壤和地下水。

### 2.2 好氧生物处理法

好氧生物处理法可分为天然和人工两类。天然好氧生物处理法有氧化塘和土地处理等。人工条件下的好氧生物处理方法采取人工强化措施来净化废水,该方法主要有活性污泥和生物滤池、生物转

盘、生物接触氧化、序批式活性污泥 (SBR)、A/O 及氧化沟等。

接触氧化和生物转盘的处理效果好于活性污泥；生物滤池的处理效果也很好，但易于堵塞。氧化沟、SBR、A/O 均属于改进的活性污泥法。氧化沟出水水质好、产泥量少，可对污水进行脱氮处理，但它的 BOD 负荷小、处理水量小、占地面积大、运行费用高；A/O 法是一种具有去除 BOD 和脱氮双重作用的活性污泥处理工艺。规模化养猪场日排放污水量很大，有机物浓度很高，可选择接触氧化、生物转盘等 BOD 负荷较大的好氧处理工艺。

### 2.3 厌氧处理法

厌氧技术在养殖场粪污处理领域中是较为常用的。对于养殖场高浓度的有机废水，必须采用厌氧消化工艺，才能将可溶性有机物大量去除（去除率可达 85%~90%），而且可杀死传染病菌，有利于防疫。

目前用于处理养殖场粪污的厌氧工艺很多，其中较为常用的有以下几种：

1) 厌氧滤器 (AF)。1972 年国外开始在生产上应用，我国于 70 年末期开始引进研究并进行了改进。其沼气产率达  $3.4 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ，甲烷含量可达 65%。

2) 上流式厌氧污泥床 (UASB)。1977 年在国内外投入使用。1983 年北京市环境保护科学研究院与国内其他单位进行了合作研究，并在有关技术指标上进行了改进。有机污水的 COD 去除率可达 80%~90%。

3) 污泥床滤器 (UBF)。为 UASB 和 AF 的结合，具有水力停留时间短、产气率高，COD 去除率高等优点。

4) 两段厌氧消化法。两段厌氧消化法主要特点是把沼气发酵过程分为酸化和甲烷化两个阶段，并分别在两个消化器内进行，缩短了工艺整体的水力停留时间，提高了系统产气率。

5) 升流式污泥床反应器 (USR)。为厌氧消化器的一种，具有效率高、工艺简单等优点。目前已被用于猪粪废水和鸡粪废水的处置。其装置产气率可达  $4 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 。COD 去除率达 80% 以上。

上述工艺的特点在于消化器内滞留了大量的厌氧流活性污泥，这些污泥具有极好的沉降性能和很好的生物活性，提高了消化器内的负荷和产气率。国内养殖场主要采用其中的 UASB 及 USR 作为养殖场粪水处理的核心工艺。

### 2.4 厌氧—好氧联合处理法

一般说，活性污泥好氧处理法，其 COD, BOD<sub>5</sub>, SS 去除率较高，可达到排放标准，但 N, P 去除率低，且工程投资大，运行费用高；自然生物处理法，其 COD, BOD, SS, N, P 去除率高，可达到排放标准，且成本低，但占地面积太大，周期太长，在土地紧缺的地方难以推广；厌氧生物法可处理高浓度有机质的污水，自身耗能少，运行费用低，且产生能源，但高浓度有机污水经厌氧处理后，往往水中的 BOD<sub>5</sub> 尚有 500~1 000 mg/L，甚至更多，难以达到现行的排放标准。此外，在厌氧处理过程中，有机氮转化为氨氮，硫化物转化为硫化氢，使处理后的污水仍具有一定的臭味，需要做进一步的好氧生物处理。而厌氧—好氧联合处理，既克服了好氧处理能耗大与土地面积紧缺的不足，又克服了厌氧处理达不到要求的缺陷，具有投资少、运行费用低、净化效果好、能源环境综合效益高等优点，特别适合产生高浓度有机废水的畜禽场的污水处理。

根据废水资源化的利用途径，厌氧—好氧工艺可有多种组合形式，如经厌氧处理后的污水可作为农田液肥、农田灌溉用水和水产养殖肥水。在没有上述利用条件及水资源紧缺的情况下，经深度处理（过滤等）和严格消毒后，可作为畜禽场清洗用水。常见的工艺流程见图 1。

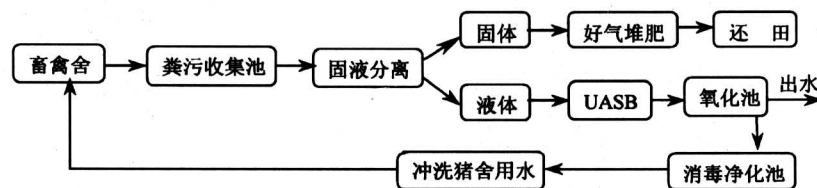


图 1 厌氧—好氧联合处理工艺流程

Fig.1 The flow diagram of combined anaerobic-aerobic treatment system

总之，规模化养殖场采用高效厌氧反应器作为厌氧处理单元，COD去除率可达80%~90%，并采用活性污泥法或生物接触氧化法作为好氧处理单元，COD去除率可达50%~60%，最后采用氧化塘等作为最终出水修饰单元，其出水不仅可用于灌溉、养殖，而且也达到排放标准。

### 2.5 生态工程—沼气工程处理法<sup>[7,8]</sup>

沼气发酵是沼气微生物在厌氧条件下，将有机质通过复杂的分解代谢，最终产生沼气和污泥的过程。由于沼气发酵要求厌氧，要求水中有机质的含量和种类、环境的温度和酸碱度等条件的相对稳定，而且发酵时间较长，因此，发酵装置的容量为日污水排放量的2~4倍，一次性投资较大。但是，沼气发酵能处理含高浓度有机质的污水，自身耗能

少，运行费用低，而且沼气是极好的无污染的燃料，有较好的经济效益。

沼气发酵菌群因适宜温度不同，可分为高温、中温和常温发酵，高温发酵温度为50℃~60℃；中温发酵为30℃~35℃；常温发酵即变温发酵，发酵温度受季节（气温）影响。温度不同，沼气的产气率和有机质的消化率也不同。由于有机质含量在1000 mg/L以下的污水沼气发酵效率不高，即使是高温发酵，污水中有机质的去除率也不可能达到100%，因此，对沼气发酵后的污水，应再进行好氧处理。

图2为杭州灯塔养殖场污水沼气工程处理流程，图3为胜利油田生态农场沼气工程装置。

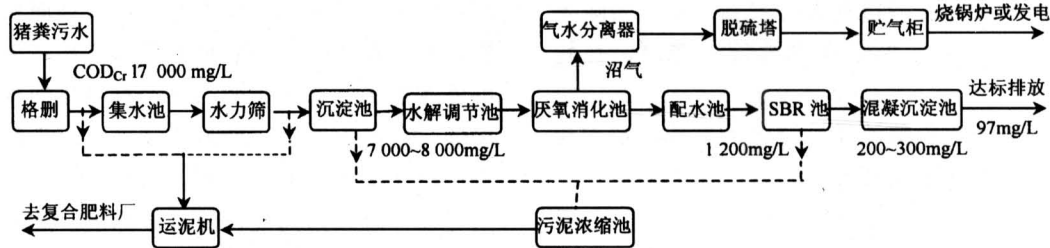


图2 杭州灯塔养殖场污水沼气工程处理流程

Fig.2 The flow diagram of wastewater treatment project in Hangzhou Dengta Farm

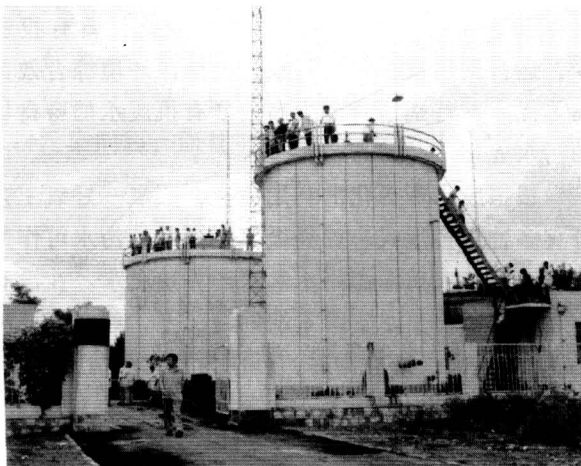


图3 胜利油田生态农场沼气工程装置

Fig.3 The diagram of biogas engineering equipments in eco-farm of Shengli Oil Field

沼气工程处理畜禽粪便和养殖场污水最大的优点之一是处理过程中除产生的沼气是优良的清洁能源外，沼液、沼渣可方便地进行综合利用，成为农业生产中的肥料、饲料<sup>[4]</sup>。

沼气工程的社会接受程度，取决于其经济效果。影响经济效果最关键的因素是养殖场的规模。在其他条件相同情况下，工程规模越大，其经济性越好。根据对大、中、小三种不同规模的畜禽场厌氧消化技术系统所做的经济和财务分析，可以初步得到如下结论。一般年出栏万头以下规模的猪场，经济上是亏损的；年出栏5万头以上规模的猪场，即使不包括环境效益，也可以实现盈利。

1) 大型畜禽场。以年出栏20万头商品猪的杭州灯塔养殖场为例，其厌氧消化技术系统的总投资1503万元，每天处理污水总量3000t，可达标排放，沼气产量8519 m<sup>3</sup>/d。经济内部收益率为19%。效益很好。

2) 中型畜禽场。以年出栏6万头商品猪和种猪的北京市顺义畜禽良种场为例，其厌氧消化技术系统的总投资为616.6万元，每天处理污水总量611t，可达标排放，沼气产量2236 m<sup>3</sup>/d。投资回收期为11.2年，经济内部收益率为4%。如果考虑到污水治理成本每吨2元，其环境效益则为每



年47.5万元。项目将转亏为盈，且有较好的财务和经济回报率。

3) 小型畜禽场。以年出栏1万头商品猪的北京市南韩继猪场为例，其厌氧消化技术系统的总投资为189万元，每天处理污水总量60~80 t，可达标排放，沼气产量150 m<sup>3</sup>/d，年运行费用7.59万元，沼气等综合利用收益5.728万元，年亏损1.862万元。如果考虑到污水治理成本每吨2元，其环境效益则为每年7.5万元。项目将转亏为盈。

以上分析表明，大中型畜禽场（猪年出栏5万头以上）畜禽粪便量大、集中，难于通过其他方式进行处理，有利于厌氧消化技术系统的实施。如果考虑污水治理的成本（一般不少于2元/t），上述三个企业的环保效益分别为217.5、47.5和7.5万元，其经济和财务的内部收益率将大大提高。

### 3 畜禽养殖场的除臭技术

#### 3.1 恶臭的来源及组成

动物排泄的有机物主要由碳水化合物和含氮化合物组成，它们在有氧条件下会彻底氧化，不会产生恶臭。绝大部分恶臭是这些有机物在合适的条件下经过慢性厌氧发酵而形成的。研究表明，排泄物在18℃的情况下经70 d以后，有24%的植物纤维片段和43%的粗蛋白发生降解，碳水化合物会转化成挥发性脂肪酸、醇类及二氧化碳等，这些物质略带臭味和酸味。含氮化合物会转化生成氨、硫酸、乙烯醇、二甲基硫醚、硫化氢、三甲胺等，这些气体有的具有腐败洋葱臭，有的具有腐败的蛋臭、鱼臭等。各种具有不同气味的气体混合在一起，也即人们常说的恶臭。

恶臭的成分复杂，现已鉴定出的恶臭成分在牛粪尿中有94种，猪粪尿中有230种，鸡粪中有150种。这些恶臭成分可分为挥发性脂肪酸、醇类、酚类、酸类、醛类、酮类、胺类、硫醇类，以及含氮杂环化合物等9类有机化合物和氨、硫化氢两种无机物。

畜禽场散发的恶臭及有害气体成分很多，主要有氨、硫化氢、硫醇类、粪臭素等

#### 3.2 除臭技术

3.2.1 饲料改进技术 通过饲料原料的合理处理、饲料配方设计、饲料加工以及消化、吸收促进剂的应用，可显著提高饲料利用率，从而有效地降低动物粪便中的N、P和金属元素含量，减少对环境的

污染。

1) 提高畜禽对饲料营养物质的利用。如适当添加氨基酸来提高畜禽对于饲料蛋白质的利用率；或是降低日粮的蛋白质含量，以便间接地减少畜禽氮的排出。

2) 添加酶制剂。如在饲料中添加b-葡聚糖酶的混合制剂，可以使能量的利用率提高13%，使蛋白质的吸收率提高21%，并能使猪粪的排出量减少20%以上。

3) 微生态制剂的应用。微生态制剂（EM）是一种新型活菌制剂，具有除臭、增重、防病和改善胴体品质的效果。将EM制剂添加到猪的饲料之后，不仅猪舍内氨气浓度下降，恶臭味明显降低，蝇虫明显减少，而且猪的增重率及饲料利用率也能得到一定的提高。

3.2.2 除臭剂的开发与应用 为了减轻畜禽排泄物及其气味的危害，可以在饲料或垫料中添加一些除臭剂。

1) 丝兰属植物提取物。其防臭的机制，是能抑制脲酶的活性，使尿素不能分解成氨气和二氧化碳，而降低了畜舍空气中氨的浓度，起到除臭的作用。

2) 天然沸石为主的硅酸盐石。天然沸石的分子有很大的吸附表面和很多大小均一的空腔和通道，可选择地吸附胃肠中的细菌及NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，H<sub>2</sub>S，CO<sub>2</sub>，SO<sub>2</sub>等有毒物质。同时由于它的吸水作用，降低了畜禽舍内空气湿度和粪便水分，减少了氨气等有害气体的产生。

3) 腐植酸。将硝基腐植酸添加到猪饲料中（用量为饲料的0.5%~1%），可降低粪便中氮的排出率，从而减少了恶臭气体的发生量。

4) 松叶精制剂。该制剂可杀灭革兰阴性菌，并抑制革兰氏阳性菌的生长，特别是在夏季能防止水和饲料的腐败。将该制剂以400倍稀释，注入猪的喂用水，能降低猪粪尿的排泄量，并促进饲料的消化吸收。

5) 矿物质添加剂。将碳酸氢钠、硫酸亚铁和明矾制成粉状混合物，添加在饲料中，可使猪粪便的含水量降低，如将其直接撒布或适当稀释喷雾于粪便，可使明矾与其他两种成分作用产生的碳酸气体与吡啶、粪臭类、NH<sub>4</sub>等发生碱性反应而起到脱臭的效果。

（下转第90页）

## Construction Management Technology Innovation Based on the Value Engineering

Zhou Qun

(School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**[Abstract]** As a new management technology, value engineering has been used in many fields since the late 1940s, such as production and operations management, purchase of materials, product design and financial supervision, etc., especially it has been widely spread in the area of construction. According to the foreign statistical data, using value engineering can reduce production cost by 30%. China is a developing country. Even though it is investing huge number of money with infrastructure every year, the value engineering hasn't been used in construction management. So this thesis discussed its application in the construction management in an attempt to promote and innovate the construction management technology in China.

**[Key words]** value engineering; construction management; technology innovation

(上接第 57 页)

### 参考文献

- |  |  |
|--|--|
| <p>[1] 卞有生. 建设农业生态工程 治理与控制湖泊的面源污染[J]. 中国工程科学, 2001, 3(5):17~20</p> <p>[2] 徐 谦, 朱桂珍, 向俐云. 北京规模化畜禽养殖场污染调查与防治对策研究</p> <p>[3] 卞有生主编. 生态农业中废弃物的处理与再生利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 86~124</p> <p>[4] 买永彬, 顾方乔, 陶 战. 农业环境学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 359~362</p> | <p>[5] 金冬霞, 王凯军. 规模化畜禽养殖场污染防治综合对策[J]. 环境保护, 2002, (12): 18~20</p> <p>[6] 廖新弟. 人工湿地对猪场废水有机物处理效果的研究[J]. 应用生态学报, 2002, (1): 113~117</p> <p>[7] 寿亦中, 蔡昌达, 林伟华. 杭州灯塔养殖总场沼气与废水处理工程的技术特点[J]. 农业环境保护, 2002, (1): 29~32</p> <p>[8] 张 从. 大中型猪场沼气工程的环境影响评价[J]. 农业环境保护, 2002, (1): 33~36</p> |
|--|--|

## Study on Techniques of Pollution Prevention and Treatment of Livestock and Poultry Farms in Scale

Bian Yousheng, Jin Dongxia

(Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

**[Abstract]** Pollution prevention and treatment of livestock and poultry farms in scale is a priority in the pollution prevention of China's rural environment, and also is key to blocking the problem sources of pollution in village. Based on in-depth investigation, research and successful experience in the world, this paper puts forward techniques of pollution prevention and treatment involving solid muck treatment and recycling use, wastewater treatment and multipurpose utilization, and the deodorization in farms. The paper focuses on various techniques of wastewater treatment and multipurpose utilization in farm, It also evaluates the common techniques such as natural bio-treatment of wastewater, anaerobic bio-treatment, aerobic bio-treatment and advanced techniques (such as anaerobic-aerobic combined treatment, eco-engineering treatment technique).

**[Key words]** the farm pollution prevention and treatment; solid muck treatment; wastewater treatment; deodorization technique