

# 泡沫板覆盖对鸡粪沼液氨气排放的影响

薛文涛<sup>1</sup>, 林 聪<sup>1</sup>, 孙钦平<sup>2</sup>, 邹国元<sup>2</sup>, 李吉进<sup>2</sup>, 刘本生<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083;

2. 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097)

**摘要:** 利用泡沫板对鸡粪沼液储存过程进行不同覆盖面积的处理, 连续监测沼液温度和 pH 值、电导率 (electric conductivity, EC)、总氮 (total nitrogen, TN)、化学需氧量 (chemical oxygen demand, COD)、总固体 (total solids, TS)、挥发性固体 (volatile solid, VS) 等理化指标, 分析影响沼液氨挥发因素和不同覆盖条件下沼液的氨气减排效果。试验结果表明, 采用泡沫板覆盖能明显降低沼液的氨气挥发量, 而且随着覆盖面积的增大, 减排效果越明显, 其中覆盖三分之一面积和覆盖一半面积处理组的氨气平均减排率分别为 28.72%、53.87%。沼液储存液面未覆盖、覆盖三分之一面积、覆盖一半面积处理组在 15 d 的储存期内累计氨气挥发量分别为 3 140.56, 2 203.64, 1 425.63 mg。不同覆盖面积处理对沼液储存中的 pH 值变化影响不明显。沼液储存过程中 EC、TN、COD 均有较为明显的下降, 而且随着覆盖面积的增大, 下降幅度变小。

**关键词:** 生物能; 鸡粪沼液; 覆盖; 氨气挥发; 氨气减排

中图分类号: S216.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-2850(2016)24-2538-06

## Effects of covering by cystosepiment on ammonia emission from chicken manure biogas slurry during storage

XUE Wentao<sup>1</sup>, LIN Cong<sup>1</sup>, SUN Qinping<sup>2</sup>, ZOU Guoyuan<sup>2</sup>, LI Jijin<sup>2</sup>, LIU Bensheng<sup>2</sup>

(1. College of Water Resources & Civil Engineering, China Agriculture University, Beijing 100083, China;

2. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

**Abstract:** Ammonia emission characteristics of different covering treatment on chicken manure biogas slurry are studied with cystosepiment in this paper. We continuously measured temperature, pH, electric conductivity (EC), total nitrogen (TN), chemical oxygen demand (COD), total solids (TS), volatile solid (VS) during the storage and analyzed the influence factor of biogas slurry ammonia emission and reduction of different covering treatment. The results showed that covering treatment on biogas slurry could significantly reduce the amount of ammonia emission, and reduction efficiency was rising with the increasing of covering area. When compared with uncovered treatment group, a third of area covered and half of area covered treatment groups reduced emission amounts by 28.72% and 53.87%. The accumulative ammonia emission amounts of uncovered, a third of area covered, half of area covered treatment groups for 15 d were 3 140.56, 2 203.64, 1 425.63 mg, respectively. There were no different influences on pH value of different covering treatment. At the end of the experiment, the concentration of EC, TN, COD had an significantly reduction, but the falling range was decreasing with the increasing of covering area.

**Key words:** bioenergy; chicken manure biogas slurry; covering; ammonia emission; ammonia reduction

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金 (20130008110038)

作者简介: 薛文涛 (1991—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 农业生物环境与能源工程

通信联系人: 林聪, 教授, 主要研究方向: 农业生物环境与能源工程. E-mail: lincong@cau.edu.cn

## 0 引言

沼液富含营养元素，因此具有很高的使用价值，但是沼液在使用前必须经过一段时间的储存，一方面进行后续降解熟化，另一方面可以调节用肥时间和数量的需求。沼液在储存过程中会挥发大量的氨气、甲烷、氧化亚氮<sup>[1]</sup>、二氧化碳<sup>[2]</sup>、硫化氢<sup>[3]</sup>等气体，而氨气的挥发不仅会造成沼液自身肥效的下降，而且会造成土壤酸化<sup>[4]</sup>以及人畜呼吸道疾病的增加等问题。

目前，通过覆盖减少畜禽粪污储存过程中氨气的排放已被证明是一种有效方法。覆盖处理首先能减少沼液的挥发面积，从而减少气体挥发；其次，有些覆盖物可以吸收气体，减少气体挥发。PORTEJOIE 等<sup>[5]</sup>对不同覆盖物条件下猪粪储存过程中氨气挥发情况的研究表明，添加覆盖物能有效减少猪粪氨气挥发；SOMMER<sup>[6]</sup>对液态猪粪的研究表明，添加表面覆盖物能够平均减少 38% 的甲烷排放量；江滔等<sup>[7]</sup>的研究表明，覆盖能明显减少冬季堆肥中的氨气排放。本试验通过使用泡沫板对沼液进行覆盖，同时对沼液理化指标进行检测分析，探究不同覆盖条件下沼液的氨气减排效果，得到高效合理的沼液氨气减排措施。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

试验采用的鸡粪沼液取自北京市大兴区留民营沼气站，该沼气站采用塞流式反应器（plug flow reactor, PFR），水力滞留期（hydraulic retention time, HRT）为 15 d，属于高温厌氧消化。沼液取自发酵罐当天的出流液，经测试，沼液的初始理化指标如表 1 所示。

表 1 沼液初始理化指标  
Tab. 1 Properties of biogas slurry before storage

试验材料	EC/( $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	TN/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	COD/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TS/%	VS/%
鸡粪沼液	30 780.00	4 250.32	5 290.27	1.58	0.61

### 1.2 试验装置与方法

#### 1.2.1 试验装置

本试验在北京市农林科学院温室内通过抽气法进行，沼液的储存装置如图 1 所示。

沼液储存箱总体积为 30 L，其中储液部分为 10 L，储液面积为 0.1  $\text{m}^2$ ，为使空气能够均匀进入箱体，在箱体周围布设了 12 个进气口。箱体上下部分可以拆除，采用密封圈进行密封。抽气管位于箱体的上部，采用 20 mm 的有机玻璃管，在储液池的中部设置出液口，用于取样。在密封盖上部设置一个温度探测孔连续测量沼液温度，温度探头放置于沼液中间部位。

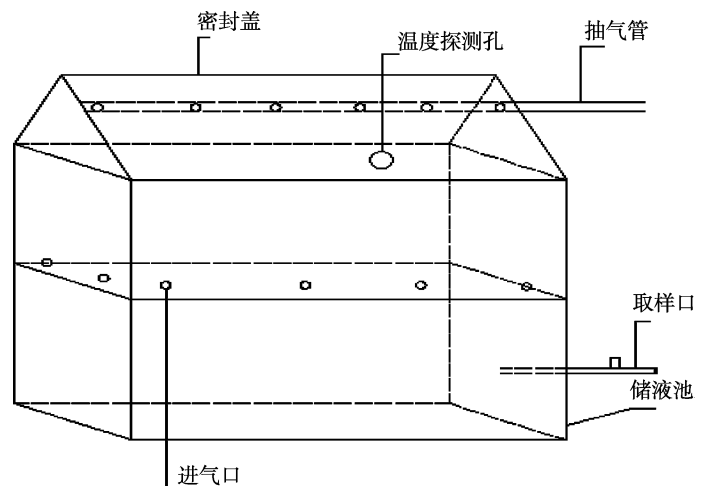


图 1 沼液储存箱结构

Fig. 1 Structure of biogas slurry storage container

试验装置如图 2 所示，整套试验装置包括沼液储存箱、酸吸收瓶 1、酸吸收瓶 2、缓冲瓶、混合瓶、气流调节阀、流量计、涡旋气泵 8 个部分。两级酸液吸收的目的是将挥发出来的氨气完全吸收，酸液为 2 mol/L 的硼酸，气体流量通过气流调节阀控制。

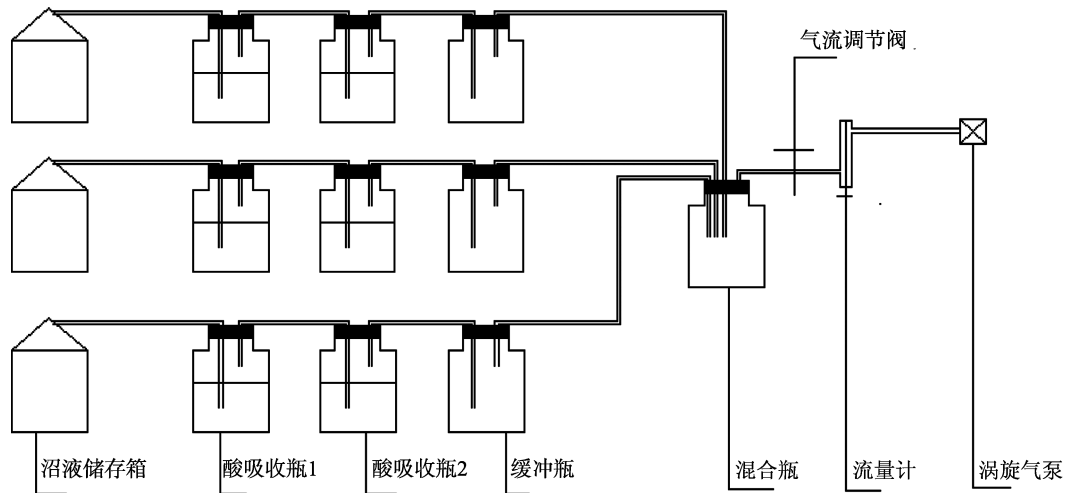


图2 试验装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of experimental devices

### 1.2.2 试验方法

抽气时间为9:00—9:30 am, 装置换气频率为20次/min. 抽气时将进气口的塞子拔出, 使空气进入, 试验结束时将塞子塞入进气口使储存箱密封, 防止氨气挥发到空气中, 抽取的氨气被两级酸液吸收瓶吸收. 试验使用泡沫板对沼液液面进行覆盖, 覆盖设置为3种状态: 液面未覆盖、液面覆盖面积占三分之一(0.033 m<sup>2</sup>)、覆盖面积占一半(0.05 m<sup>2</sup>). 上述3组试验每组设置3个重复, 共9组. 试验周期为15 d.

### 1.2.3 分析方法

吸收的硼酸采用0.02 mol/L的硫酸滴定, 硫酸用碳酸钠进行标定, 氨挥发量的计算公式为

$$\text{氨气挥发量}_{\text{NH}_3\text{-N}} = (V_1 + V_2) \times C \times 14, \quad (1)$$

其中, 氨气挥发量(mg);  $V_1$ 为1瓶消耗硫酸的体积(mL);  $V_2$ 为2瓶消耗硫酸的体积(mL);  $C$ 为硫酸标准溶液浓度(mol/L); 14为氮原子的摩尔质量(g/mol).

在试验开始和结束时分别对沼液采样, 进行理化指标测定. pH值用pH计(MP511, SANXIN)测定; EC用电导率仪(DDS-307, 雷磁)测定; TN用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定(GB11894—89); TS、VS用干燥箱、马弗炉和万分之一天平进行恒质量法测定; COD用重铬酸钾盐法(5B-1型, 连华科技)测定. 试验数据通过Excel 2007软件进行分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 沼液储存中氨挥发量的变化

3种不同处理组沼液储存中氨气挥发量的变化如图3所示.

由图3可以看出, 3组沼液的挥发趋势一致, 都是呈现先升后降的特点, 未覆盖、覆盖三分之一面积、覆盖一半面积组的氨气挥发量在第4天时达到的峰值分别为275.57, 191.45, 128.00 mg, 随后开始下降,

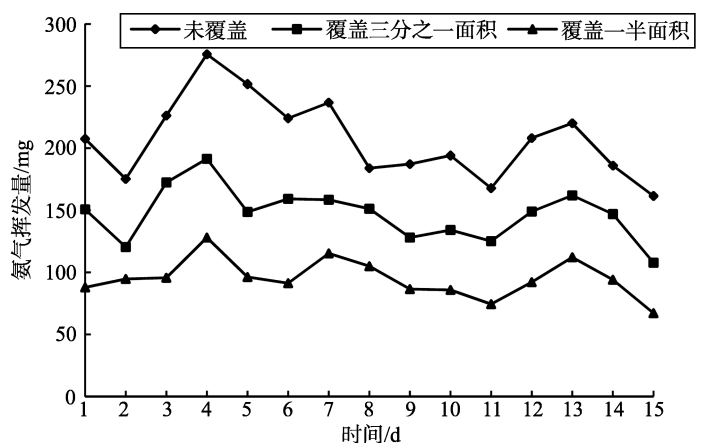


图3 储存期间沼液氨气挥发量

Fig. 3 Ammonia emission amounts of biogas slurry during storage

在贮存结束时 3 组沼液挥发量分别为 161.42, 107.67, 67.07 mg. 在储存的第 12~14 天, 氨气挥发量稍有升高, 这是由于这段时间温室温度受外界影响有所升高所致, 也反映出沼液储存温度对氨气挥发的影响。试验表明, 经泡沫板覆盖处理后沼液的氨挥发量明显下降, 覆盖面积越大其挥发量的下降越明显。

## 2.2 沼液储存中累计氨挥发量的变化

沼液在 15 d 的储存过程中氨气累计挥发量如图 4 所示, 在 15 d 的储存周期内未覆盖、覆盖三分之一面积、覆盖一半面积组氨气挥发总量分别达到了 3 140.56, 2 203.64, 1 425.63 mg. 经分析, 3 组沼液氨气累计挥发量存在显著性差异, 说明覆盖处理对沼液氨气挥发有明显的抑制效果, 而且随着覆盖面积的增大, 抑制效果越明显。在整个储存期内覆盖三分之一面积和覆盖一半面积处理组的氨气挥发量明显低于未覆盖处理组的氨气挥发量, 这与 BERG 等<sup>[8]</sup>使用秸秆和珍珠岩等对猪粪进行覆盖得出其均可以抑制猪粪氨气挥发的结果一致。

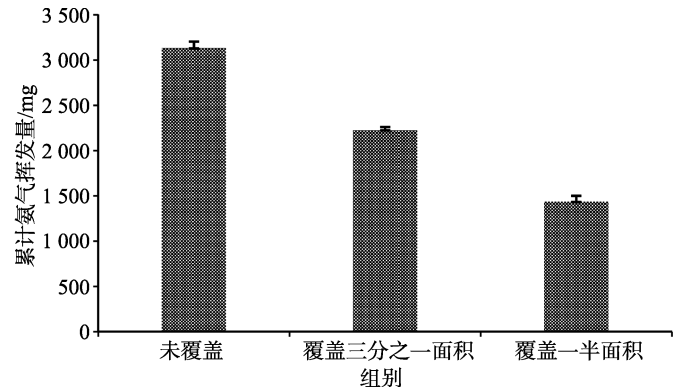


图 4 储存期间沼液累计氨气挥发量

Fig. 4 Ammonia accumulative emission amounts of biogas slurry during storage

## 2.3 不同覆盖处理组沼液氨气减排率

覆盖组沼液在整个储存周期的氨气减排率如图 5 所示。

由图 5 可以看出, 在整个储存期内覆盖一半面积处理组沼液的氨气减排率明显高于覆盖三分之一面积处理组, 两者在第 5 天达到最大减排率, 分别为 61.75%和 40.95%; 在储存第 8 天的减排率最低, 分别为 42.94%和 17.77%。2 组不同覆盖处理沼液的平均减排率分别为 53.87%和 28.72%, 可见覆盖面积越大, 减排效果越好。

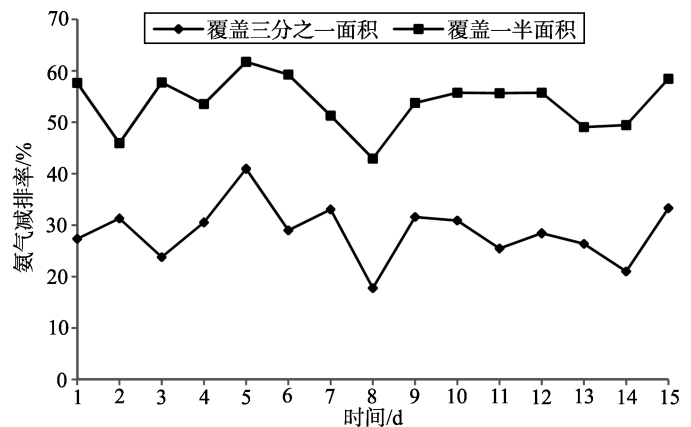


图 5 不同覆盖条件下氨气减排率

Fig. 5 Reduction efficiency of ammonia in different covering areas

## 2.4 沼液储存中 pH 值的变化

3 种不同处理组沼液储存中 pH 值的变化如图 6 所示, 3 组沼液 pH 值在储存过程中不断上升, 未覆盖、覆盖三分之一面积、覆盖一半面积组沼液 pH 值, 由初始的 8.25 到试验结束时分别上升至 8.98、9.10、8.97, 但是 3 组沼液 pH 值变化没有明显的差异, 说明不同覆盖面积处理对沼液储存中 pH 值的变化影响不大。

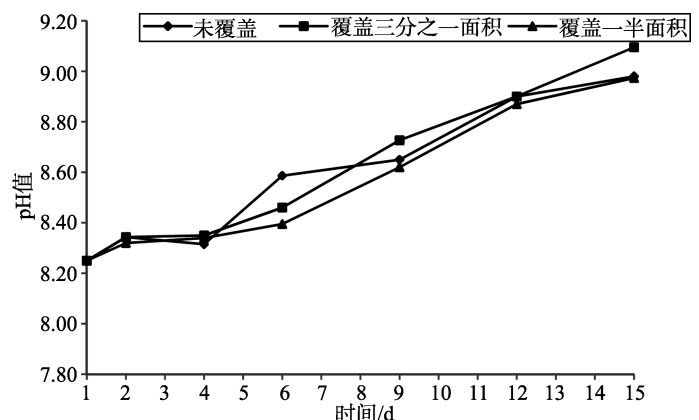


图 6 沼液储存中 pH 值的变化

Fig. 6 Changes of pH values during biogas slurry storage

## 2.5 沼液储存中温度的变化

3 组不同处理沼液储存过程中温度的变化如图 7 所示。在储存过程中沼液的温度维持在

15~20℃之间,并未出现大范围的波动情况,主要是因为本试验在温室内进行,受室外温度变化影响较小,且试验过程中温度变化趋势与氨挥发特征具有一致性,说明温度对沼液的氨气挥发有较大影响。

### 2.6 沼液储存前后各理化指标的变化

沼液储存前后的理化指标如表 2 所示,储存结束后未覆盖、覆盖三分之一面积、覆盖一半面积组的 TN 含量分别下降了 9.97%、6.50%、4.28%,可见随着覆盖面积的增大,TN 降幅较小,这是由于覆盖物减少了沼液的氨气挥发面积,从而使沼液中氮素损失减少。3 组沼液 COD 的浓度分别下降了 27.67%、24.88%、23.09%,同样是随着覆盖面积的增加,其下降幅度减小,分析可能是由于与空气的接触面积减小,导致好氧微生物的活性下降,而沼液中对有机物的分解主要是好氧微生物,因此随着好氧微生物的活性下降对沼液中有机物的分解能力减弱,同时挥发面积减小会抑制有机物分解产生的气体挥发,导致沼液中有机物分解速度下降,造成 COD 降幅减小,储存结束后,3 组沼液 EC 分别下降了 6.34%、11.53%、9.42%,沼液中 TS、VS 含量也有所下降。

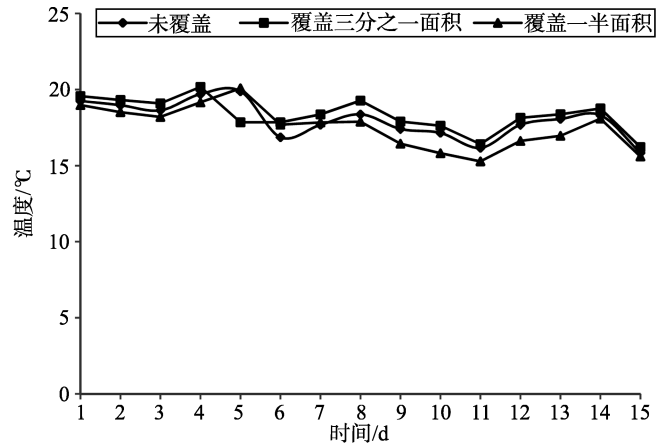


图 7 沼液储存中温度的变化  
Fig. 7 Changes of temperature during biogas slurry storage

表 2 沼液储存前后的理化指标

Tab. 2 Properties of biogas slurry before and after storage

	时间	EC/( $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	TN/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	COD/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TS/%	VS/%
未覆盖	第 1 天	30 780.00	4 250.32	5 290.27	1.58	0.61
	第 15 天	28 830.00	3 826.62	3 826.62	1.32	0.51
覆盖三分之一面积	第 1 天	30 780.00	4 250.32	5 290.27	1.58	0.61
	第 15 天	27 230.00	3 973.85	3 973.85	1.22	0.45
覆盖一半面积	第 1 天	30 780.00	4 250.32	5 290.27	1.58	0.61
	第 15 天	27 880.00	4 068.50	4 068.50	1.55	0.53

### 3 结论

本研究给出了鸡粪沼液在不同覆盖储存条件下的氨气挥发特性,得出以下结论:

1) 沼液储存液面未覆盖、覆盖三分之一面积、覆盖一半面积处理组在 15 d 的储存期内 3 组沼液的累计氨气挥发量分别为 3 140.56, 2 203.64, 1 425.63 mg. 覆盖处理对于沼液氨气挥发有明显的抑制效果,而且随着覆盖面积的增大,抑制效果越明显。

2) 在储存期内覆盖一半面积处理组沼液的氨气减排率明显高于覆盖三分之一面积处理组,两者在第 5 天达到最大减排率,分别为 61.75%和 40.95%; 两组不同覆盖处理组的平均减排率分别为 53.87%、28.72%,可见覆盖面积越大减排效果越好。

3) 3 组处理沼液在储存过程中 pH 值的变化不大,即不同覆盖面积处理对沼液储存中 pH 值的变化影响不明显。

4) 沼液储存过程中 EC、TN、COD 均有所下降,但随着覆盖面积的增大,下降幅度变小。

**[参考文献] (References)**

- [1] LU J B, ZHU L H, HU G L, et al. Integrating animal manure based bio-energy production with invasive species control: a case study at Tongren Pig Farm in China[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2010, 34(6): 821-827.
- [2] JOACHIM C, MANFRED T, PETER W, et al. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 112(2-3): 171-177.
- [3] WANG K Y, HUANG D D, YING H C, et al. Effects of acidification during storage on emissions of methane, ammonia, and hydrogen sulfide from digested pig slurry[J]. *Biosystems Engineering*, 2014, 122: 23-30.
- [4] NDEGWAP M, HRISTOVA N, AROGO J, et al. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations[J]. *Biosystems Engineering*, 2008, 44(100): 453-469.
- [5] PORTEJOIE S, MARTINEZ J, GUIZIOU F, et al. Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes[J]. *Bioresource Technology*, 2003, 87(3): 199-207.
- [6] SOMMER S G. Ammonia volatilization from farm tanks containing anaerobically digested animal slurry[J]. *Atmospheric Environment*, 1997, 31(6): 863-868.
- [7] 江滔, SCHUCHARDT F, 李国学. 冬季堆肥中翻堆和覆盖对温室气体和氨气排放的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27 (10): 212-217.  
JIANG T, SCHUCHARDT F, LI G X. Effect of turning and covering on greenhouse gas and ammonia emissions during the winter composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(10): 212-217. (in Chinese)
- [8] BERG W, BRUNSCH R, PAZSICZKI I. Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 112(2-3): 129-134.