分类号： x713 单位代码： 10879

密 级： 学 号 ： 2012S014

**安徽科技学院**

**全 日 制 硕 士 专 业 学 位 论 文**

规模猪场沼气发电与沼液沼渣分离的关键技术研究

**Study on Scale Pig Farm Biogas Power Generation and Biogas Slurry Residue Separation Technology**

研 究 生： 刘文红 指 导 教 师： 王立克 教授 合 作 指 导 教 师： 郑久坤 高级农艺师申请学位门类级别： 农业推广硕士 专 业 领 域 名 称 ： 养殖 研 究 方 向： 畜牧业废物处理和综合利用

**2014 年 6 月 5 日**

论 文 提 交 日 期： 2014年4月20日

论 文 答 辩 日 期： 2014年6月5日

学 位 授 予 日 期： 2014年6月16日

学 位 类 别： 农业推广硕士

答 辩 委 员会主席： 焦立新

**独创性声明**

本人声明所呈的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得安徽科技学院或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名： 签字日期： 年 月 日

**学位论文版权使用授权书**

本学位论文作者完全了解安徽科技学院有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文件，允许论文被查阅和借阅。本人授权安徽科技学院可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文（保密的学位论文在解密后适用本授权书）。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 学位论文作者签名： | 签字日期： | 年 | 月 | 日 |
| 指 导 教 师 签名： | 签字日期： | 年 | 月 | 日 |
| 合作指导教师签名： | 签字日期： | 年 | 月 | 日 |

符 号 说 明

**PFR**: Plug Flow Reactor，塞流式反应器

**USR**: Upflow Solids Reactor，升流式固体反应器**UASB**: Upflow Anaerobic Sludge Bed升流式厌氧污泥床**SBR**: sequencing batch reactor，活性污泥反应器

**COD**: chemical oxygen demand，化学需氧量**BOD**: Biochemical Oxygen Demand，生化耗氧量**Alk-hydro N**: alkali-hydrolyzale nitrogen，碱解氮**A-P:** Available p，速效磷

**A-K**: Available K，速效钾**Vc**: vitaminc，维生素C **CP**: Crude Protein，粗蛋白**CF**: Crude Fibre，粗纤维

**Ash**:粗灰分

目 录

[符 号 说 明](#_Toc686756195) 3

[中文摘要](#_Toc686756196) 4

[Abstract](#_Toc686756197) 4

[1. 前 言](#_Toc686756198) 5

[1.1 规模化猪场沼气工程发展概况](#_Toc686756199) 5

[1.2 沼渣沼液综合利用的研究进展](#_Toc686756200) 6

[1.2.1 沼渣的综合利用](#_Toc686756201) 6

[1.2.2 沼液的综合利用](#_Toc686756202) 6

[1.3 发展沼气工程开展畜禽粪污综合处理的意义](#_Toc686756203) 7

[1.3.1 发展可再Th能源、改善能源结构的需要](#_Toc686756204) 7

[1.3.2 减少温室气体排放的需要](#_Toc686756205) 7

[1.3.3 保护Th态环境的需要](#_Toc686756206) 7

[2 材料与方法](#_Toc686756207) 7

[2.1 试验样品](#_Toc686756208) 7

[2.2 样品采集时间、方式](#_Toc686756209) 7

[2.3 各试验处理方法步骤](#_Toc686756210) 7

[2.3.1 沼气发电技术流程](#_Toc686756211) 7

[2.3.2 试验试剂](#_Toc686756212) 8

[2.3.3 试验器材](#_Toc686756213) 8

[2.3.4 试验方法](#_Toc686756214) 8

[2.4 试验数据处理方法](#_Toc686756215) 9

[3. 结果与分析](#_Toc686756216) 9

[3.1 提高猪场粪污Th产沼气效果的研究](#_Toc686756217) 9

[3.1.1 冬季大型厌氧发酵中温发酵技术](#_Toc686756218) 9

[3.1.2 应用发酵介质热能利用装置](#_Toc686756219) 9

[3.1.3 调浆池内设计安装搅拌装置](#_Toc686756220) 9

[3.1.4 发酵介质pH值的可调节](#_Toc686756221) 9

[3.2 夏季、冬季两个季节粪污原液微Th物的变化](#_Toc686756222) 10

[3.2.1 夏季、冬季粪污原液微Th物数量的变化](#_Toc686756223) 10

[3.2.2 夏季、冬季粪污原液不同形态微Th物数量的变化](#_Toc686756224) 10

[3.2.3 炎热季节与寒冷季节对粪污原液中细菌革兰氏染色效果的影响](#_Toc686756225) 11

[3.3 固液分离对沼液沼渣养分含量、理化性质的影响](#_Toc686756226) 11

[3.3.1 四级分离过程中沼液粗蛋白含量的变化](#_Toc686756227) 11

[3.3.2 四级分离过程中沼液Vc含量的变化](#_Toc686756228) 12

[3.3.3 四级分离过程中沼液pH的变化](#_Toc686756229) 12

[3.3.4 四级分离过程中沼液钙含量的变化](#_Toc686756230) 13

[3.3.5 四级分离过程中沼液磷含量的变化](#_Toc686756231) 14

[3.3.6 四级分离过程中沼液COD含量的变化](#_Toc686756232) 14

[3.3.7 夏季和冬季四级分离后沼渣钙磷含量的变化](#_Toc686756233) 15

[3.3.8 夏季和冬季四级分离后沼渣中粗脂肪、粗灰分、粗纤维含量的变化](#_Toc686756234) 15

[3.3.9 夏季和冬季四级分离后沼渣pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量的变化](#_Toc686756235) 16

[4. 讨论](#_Toc686756236) 17

[4.1 提高猪场粪污Th产沼气效果的研究](#_Toc686756237) 17

[4.2 四级分离对沼液各性状的影响](#_Toc686756238) 17

[4.3 四级分离对沼渣各养分含量的影响](#_Toc686756239) 17

[5. 结论](#_Toc686756240) 17

[6. 参考文献](#_Toc686756241) 17

[7. 致谢](#_Toc686756242) 19

[8. 相关科技成果情况](#_Toc686756243) 20

中文摘要

随着我国规模化养殖业的发展，养殖场未经科学有效途径处理的粪污而带来的环境污染问题已日趋严重。现在畜禽养殖污染已成为各地区农业面源污染的主要来源，成为水体污染和富营养化的主要原因。防治畜禽养殖业污染，科学利用好畜禽养殖粪污，并逐步对其资源化利用已成为现阶段环境保护的重要研究方向。本论文以规模化养猪场有机废弃物的综合处理与应用为研究方向，以有机废弃物沼气工程的高效产气和沼液、沼渣四级分离在夏季、冬季的部分理化性质、养分含量以及粪污原液的微生物状态的研究为切入点，对养猪场沼气工程中的产物进行研究，为实现畜禽粪污资源化利用提供科学依据。研究结果如下：

1. 在沼气发电过程中增加罐体加热装置和发酵介质热能利用装置，可以促进发酵罐的保温和增温，提高寒冷季节的产气效率，使冬季能够均衡产气。

2. 需氧和厌氧环境培养下的菌落总数夏季均多于冬季，差异显著（*P*<0.05）。夏季不同形态细菌的数量与冬季的比较：各形态的细菌数量夏季的要明显高于冬季，差异显著（*P*<0.05），其中球状细菌数量的差异性极显著（*P*<0.01）。革兰氏染色中夏季的革兰氏阳性的细菌数量和革兰氏阴性的细菌数量均与冬季的有明显差异（*P*<0.05），阴性菌多于阳性菌。

3. 四级分离的四个池中沼液粗蛋白含量、Vc 含量夏季明显高于冬季，差异显著

（*P*<0.05），钙磷含量夏季明显低于冬季，差异显著（*P*<0.05）。其中曝气池粗蛋白含量、Vc含量、钙磷含量最低。

4. 夏季的沼液收集池和混凝沉淀池pH差异不显著（*P*> 0.05），其他池中沼液包括粪污原液相比pH差异极显著（*P*<0.01）。冬季沼液收集池pH与其他池中沼液包括粪污原液相比差异极显著（*P*<0.01），水解酸化池和混凝沉淀池pH 比较差异不显著

（*P*> 0.05），曝气池和粪污原液pH相比较差异不显著（*P*> 0.05）。夏季和冬季沼液收集池和水解酸化池中COD差异极显著（*P*<0.01），混凝沉淀池中COD含量差异显著

（*P*<0.05），COD去除效果明显。

5. 夏季和冬季的沼渣中钙磷含量相差较大，差异显著（*P*<0.05）。冬季沼渣粗脂肪和粗灰分含量高于夏季，而粗纤维含量夏季高于冬季，且差异显著（*P*<0.05）。速效钾

的含量夏季高于冬季，有机质、碱解氮、速效磷的含量冬季要高于夏季，差异极显著

（*P*<0.01）。

结论：在沼气发电过程中增加罐体加热装置和发酵介质热能利用装置，可以促进发酵罐的保温和增温，提高寒冷季节的产气效率，采用高密度过滤网可以实现对发酵后沼液和沼渣的固液分离。夏季和冬季两个季节的四级分离的各阶段中沼液中的粗蛋白、Vc含量夏季多于冬季，钙磷含量夏季少于冬季，且差异显著（*P*<0.05）。粪污微生物培养、染色、计数的试验发现，夏季粪污原液的细菌总数显著高于冬季（*P*<0.05），且各形态细菌的数量较冬季相比高很多。冬季最终排出的沼液COD要高于夏季，pH低于夏季。其中通过四级分离技术COD含量下降明显。四级分离后的沼渣中粗脂肪、粗灰分、有机质、碱解氮、速效磷含量冬季高于夏季，而粗纤维、速效钾含量夏季高于冬季。

**关键词：**规模猪场；沼气发电；沼液；沼渣；四级分离

**Study on Scale Pig Farm Biogas Power Generation and Biogas Slurry Residue Separation Technology**

Abstract

With the development of large-scale farming in China, Farms without scientific and effective way to deal with waste and pollution to the environment problem has become increasingly serious. Now the main source of pollution from livestock and poultry breeding has become the agricultural non-point source pollution in each area, becomes the main reason of water pollution and eutrophication of nutrition. Prevention and treatment of livestock and poultry breeding pollution, make good use of livestock and poultry breeding waste of science, and gradually to its resource-oriented utilization has become an important research direction in present stage of environmental protection. In this thesis, a large-scale comprehensive treatment of organic wastes and application of pig farm as the research direction, with efficient gas of organic waste gas project and biogas slurry, biogas residue four level separation research in the summer, winter physicochemical properties, nutrient content and dung liquid microbial state as the starting point, to study the outcome of pig farm biogas project, and provide scientific basis for the implementation of livestock and poultry manure resource utilization. The results are as follows:

1. In the biogas power generation process to increase the heating device and the fermentation medium heat energy utilizing device, can promote fermentation tank insulation and temperature, improve the efficiency of gas production in cold season, the winter can balance the gas production.

2. Under aerobic and anaerobic environment to cultivate the total number of colonies in summer is more than winter, significant differences (*P*<0.05). Different forms of the number of bacteria in summer and winter comparison: the morphology of the bacterial number in summer than in winter, significant difference (*P*<0.05), the difference of spherical bacteria significantly (*P*<0.01). The number of bacteria in the summer Gram staining gram positive bacteria and gram negative and winter have obvious difference (*P*<0.05), the number of negative bacteria more than positive bacteria.

3. Biogas slurry crude protein content, Vc content of four pools of four level separation in summer was significantly higher than that in winter, significant difference (*P*<0.05), calcium and phosphorus content in summer was significantly lower in winter, significant differences *(P*<0.05). The crude protein content of calcium and phosphorus in aeration tank,

The content of Vc, the lowest content.

4. Biogas collection pool in summer and coagulation sedimentation tank of pH have no significant difference (*P*> 0.05), Compared to other biogas slurry pool including waste liquid pH extremely significant difference (*P* <0.01). Compared biogas slurry collection pool pH with other biogas slurry pool including waste liquid difference is very significant in winter(*P*<0.01), compared the pH of hydrolysis acidification pool with coagulation sedimentation tank the difference was not significant (*P*> 0.05), compared the pH of aeration tank and the waste liquid difference was not significant (*P*> 0.05). Summer and winter biogas liquid collecting tank and hydrolysis acidification pool COD significant difference (*P*<0.01), mixed COD content difference in coagulation sedimentation tank was significantly *(P*<0.05), COD removal effect.

5. Summer and winter biogas residue of calcium and phosphorus in difference, difference significant *(P*<0.05). Winter crude fat content of biogas residue and crude ash is higher than in summer, while the crude fiber content in summer than in winter, and the difference was significant (*P*<0.05). The content of the available potassium in summer than in winter, organic matter, available nitrogen, available phosphorus content in winter than in summer, the difference was significant (*P*<0.01).

Conclusion: Increase the heating device and the fermentation medium heat utilization device in the biogas power generation process, can promote fermentation tank insulation and temperature, improve the efficiency of gas production in cold season, can be achieved on the solid-liquid separation of biogas slurry and residue after the fermentation of high density filter using. The crude protein content of Vc in biogas slurry, summer and winter two seasons in four separate stages in summer than in winter, summer is less than the content of calcium and phosphorus in winter, and the difference was significant (*P*<0.05). Dung microbial culture, staining, counting the total number of bacteria in the summer, dung liquid was significantly higher than that in winter (*P*<0.05), and the number of the morphology of bacteria was much higher in winter compared. In winter the final discharged slurry COD is higher than that of summer, pH below the summer. The four stage separation technology of COD content decreased significantly. Four level after the separation of biogas residue of crude fat, crude ash, organic matter, available nitrogen, available phosphorus content is higher in winter than in summer, while available potassium content of crude fiber, in summer than in winter.

**KEy words: Scale Pig Farms; Biogas Power Generation; Biogas slurry; Biogas residue; Four Level Separation**

# 1. 前 言

## 1.1 规模化猪场沼气工程发展概况

近些年来我国沼气建设发展很迅速，沼气工程的发展已进入国家的长期规划中。到

2020年，在合适地区基本普及沼气工程，沼气的产能预计达到400多亿立方米。通过沼气工程将畜禽粪便及各生产系统生产的有机废弃物转化为沼气能源和有机肥料沼渣沼液。以沼气为纽带的生态农业生产模式是当今宣扬低碳经济、支持循环经济发展的典型案例[1]。这对于资源的全方位利用，环境污染的减少，农村的生活质量提高，生活用能紧缺的缓解，农业生产条件的改善和建立生态农业具有重要意义。

我国的沼气技术历经长年的探索研究和试点示范，沼气建设的各个环节都在趋于成熟。其中发酵工艺和综合利用技术现在已位于世界一流水平。与此同时，我国将沼气与农业生产紧密结合，形成了各种类型的沼气发展的生态模式[2]。

现在我国畜禽养殖场大中型沼气工程建设规模更大，内容更多，以沼气为纽带的各种生态农业模式均取得了很好的社会效益和经济效益。因此，建设大中型沼气工程，实现畜禽粪便资源化利用，对于改善环境质量、促进养殖业健康可持续发展具有重大意义。

沼气是一种在厌氧状态下由多种细菌发酵作用将有机物质发酵产生的混合气体[3]。它的主要成分是CH4，通常约占沼气总体积的45%-65%；第二大成分是CO2，约占沼气总体积的35%-45%；剩下的气体约占沼气总体积的4%左右。

杂草、人畜粪便、生活垃圾、日常污水、作物秸秆、有机废物等各种有机的物质都可以成为生产CH4的原始材料。产甲烷菌的分布很广泛，在自然界中特别常见，有机物质经产甲烷菌的发酵作用下生成可燃气体。它原来发现时从池塘和沼泽地的底层污泥里面冒出的，所以，人们就叫它“沼气”。人类在发现后建设的沼气发生器，就名为“沼气池”。沼气池最重要的是确保细菌的厌氧消化，使厌氧细菌能够足够多的生长发育、繁殖代谢，这些厌氧的产甲烷细菌越活跃，产生的沼气量就越大。因此厌氧细菌的多产沼气的关键就是打造良好的厌氧条件。

沼气发酵的现象在自然界中很普遍，波加姆波（Bechamp, 1866）是发现甲烷的形成是一种微生物学的过程的第一人。以马粪为原料来制取沼气进而点灯是世界上经济型生物能源的第一次应用（英国，1896年）。1936年，英国人首先在Times河使用厌氧消化的技术来制取沼气，并且将之作为补充能源。以后经过许多科学家的研究（洪歌特，1950

年）慢慢的建立起了厌氧发酵制取沼气的技术，第二次世界大战后，许多欧洲的国家都鼓励兴起厌氧消化解决废水和污泥的技术。但是，直到20世纪70年代，伴随世界性能源问题和环境污染问题的出现，这种环保高效的沼气发酵技术才真正引起人们的重视。

中国的大中型畜禽沼气工程的出现开始于上世界70年代末，它的发展过程和我国养殖业的发展以及整个社会对环保的重视程度密切相关。1978-1985年期间所发展的大型养殖场沼气工程的主要目的是为了利用沼气这一宝贵能源，从而减少能源供给的巨大负担。1985-1990年，针对养殖场沼气工程存在的一些问题，开展了发酵工艺、建池技术、配套设备等多方面的改进，引入了一批国外先进的技术，加强了培训和管理，使沼气工程的技术水平大大提高。从90年代初开始，人民在建造的大中型养殖场沼气工程的时候就更加重视其产生的环境效益了。并通过开展综合利用来增加工程的经济效益。人们研究并创造了多种新型高效发酵的工艺，使厌氧消化器的处理能力提高2-10倍、产气率提高1-3倍、COD去除率提高10-20个百分点。这些新式装置的出现和应用，标志着我国沼气工程水平得到了极大提高，同时也为畜禽养殖场的沼气工程得到更大范围的推广应用打下了良好的技术基础。

随着技术的提高和人们认识水平的上升，对沼气技术的使用要求已从能源角度转变到了保护环境进而取得社会效益和环境效益，已经形成了集中供气和规模化的沼气发电，并逐渐开展了“三沼”的综合利用，形成了以沼气为纽带的新能源体系，有效的促进了农村的经济发展和科技进步，促进了农民传统的生活和生产方式的转变，改善了农民生活水平。

据相关资料测算，目前我国畜禽粪便未经处理所造成的生态环境污染，已经远远超过了工业生产和城镇生活污水的污染量[4]。尤其大中型养殖场产生的粪便量大而集中，如果不进行有效的处理和利用，不仅污染环境，而且成为农村污染的主要原因，因此养殖场沼气工程建设已经成为解决农村能源和环境保护的重要手段。

畜禽粪便如果得不到科学处理，不仅会造成肥分损失，还会产生严重的环境污染。对大气的污染主要是由于粪便自身的恶臭气味和对人畜有毒害作用的气体，以及挥发的带有病菌的粉尘。粪尿堆积发酵，可产生硫化氢、氨气、硫醇、苯酚、挥发性有机酸等上百种有毒有害物质[5]。这些物质会直接造成空气污浊，降低空气质量。

畜禽粪便恶臭能使呼吸中枢产生毒害，而且粪污排放，可导致病原微生物、寄生虫卵等的大量繁殖并使得多种传染病传播蔓延，有些是人畜共患的，如血吸虫病、绦虫病等。据世界卫生组织（WHO）和联合国粮食及农业组织（FAO）的有关资料报道，目

前在世界范围内发现的已知人畜共患疾病如炭疽、禽流感、结核病等约有250种，在中国发现的就有有120多种[6]，它们是通过感染畜禽的粪尿、分泌物、污水、饲料以及垫草传播。

畜禽粪便的有机质含量很高。比如猪粪的BOD5含量约为60g/L，猪粪尿BOD5含量约为30g/L，猪场冲洗水中BOD5含量高达2-8g/L，COD高达5-20g/L[7]。由于这些粪污水的淋溶性很强，使大量氮、磷流入水体或渗入到地下，使地表水富营养化、导致水资源受到严重污染[8]。

在畜牧业发展的这么多年里，大多数畜禽养殖场将粪污直接倾倒入土地，而有限的土地承载了自身吸纳的能力，在很大程度上影响了土壤的土层结构。土壤的孔隙受到堵塞，土壤透气性能和透水性能大大下降，土壤的质量大大降低了。即使未倾倒土地而将其作为肥料灌溉农作物，这种未经科学处理的高浓度废水不仅会使作物倒伏，影响作物成熟，造成产量下降，还可能对作物生长产生毒害作用，极大的影响作物的正常生长和产量的稳定。

就国家环保部门给出的固体废弃物数量及污水的COD两大指标，农业面源污染已成为最大的污染来源（2012年数据为农业面源污染占总污染来源的54%），其中畜禽粪便污染已是最重要的农业面源污染（2012年数据显示畜禽粪便污染占到农业面源污染的90%）。因此，妥善处理畜禽粪便刻不容缓。

采用厌氧发酵系统处理畜禽粪便是一种经济可行的处理方式。几乎所有的沼气厌氧发酵工艺在中国都有应用。其中升流式固体反应器（USR）结构简单，像猪粪这样固体悬浮物较多，适合使用USR消化器。

USR反应器的原料是从底部流入消化器，在消化器内没有消化完的固体会自动沉降留在消化器的底部。上清液从消化器顶部排出，从而固体有机物的分解效率和消化器的工作效率有所提高[9]。

在发酵所需要的温度上分类，45-65℃属于高温发酵，20-45℃属于中温发酵，20℃以下就称低温发酵了。除此之外，那些因自然温度变化发酵温度随之变化的发酵方式即称为常温发酵。

温度在40℃以下的中温发酵，产气率随着温度的上升而上升，它的最适温度在35℃左右。根据各种不同温度的实验结果，发酵温度从35℃变化到25℃仍能获得85%的产气率。即使15℃也有63%的沼气生成。所以一般认为35℃左右的处理效率是最高的。30℃时，可以明显提高净能产量，并且处理效率也不会有太大下降。

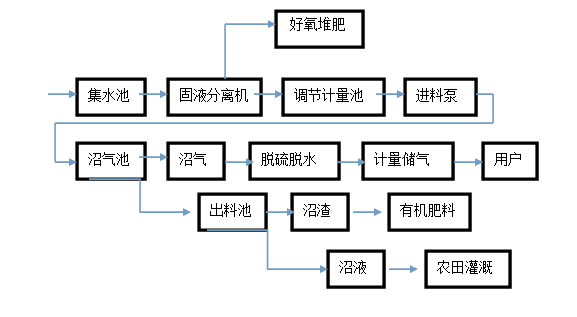
德国与奥地利的畜禽养殖场建造的沼气工程，80%以上采取中温发酵工艺。而德国农牧场里10%的沼气工程采用的是高温发酵工艺[10]。而在奥地利仅有5%的沼气工程采用的是高温发酵的方式，其余的采用高温、中温相结合的发酵方式[11]。

在我国大部分地区，为使沼气发酵工艺常年的稳定运转，常采取增温和保温的方法，虽然这些加热和保温系统的安装支出的费用会较高，但这些设备的添加可以保证寒冷季节的正常产气，所以又是必须的，并且被加热的发酵原料具有较高的有机物浓度，每立方米原料经发酵后可产沼气10立方米以上，这样才会有较高的产量。

大多数沼气工程采用中温发酵和近中温发酵，并配有预热和加热循环装置以保证厌氧消化过程的温度稳定[12]，所产沼气用于沼气发电和集中供气，部分企业沼气自用。如丹麦在2000年前就已建成年处理农业废弃物在10万吨以上的沼气装置。丹麦的这些工程基本为中温或高温发酵，产气率高，通过沼气发电上网，给千家万户配送电力，具有明显的经济效益和社会效益。国外大多数规模化畜禽场的粪污处理是以厌氧消化法为主，自动化程度高，工程运行稳定。目前常用的升流式固体反应器（USR），具有结构简单，能耗低，运行稳定可靠，管理方便等优点，已得到大家的共识。厌氧生物技术以其处理效果好，及其附加产品——沼气可解决部分能源问题，厌氧发酵后的沼渣、沼液被用于大田、果树和蔬菜等生产中的肥料而得到很好的应用，其综合利用已取得一定的经济效益，成为生态农业中的一个重要部分，被应用与养殖场粪污水处理工程中。

沼气发酵的最适宜的pH为7.5-8.0, 7.5以下或8.0以上都会抑制产气。当发酵pH值降到5.5以下时，因产甲烷菌不能正常活动，从而无法正常产气。但是pH值上升到8-8.5时，仍能保持高产气率。这是由于氢离子浓度较高不利于大多数产甲烷菌的活动。

对粪污进行固液分离是采用任何处理系统都不可或缺的[13]。根据采取的工艺路线不同，固液分离的位置和功能也不一样。能源环保型采用先分离、后厌氧消化，以改善出水水质；能源生态型则采用先厌氧消化、再将厌氧残留物进行固液分离，以提高沼气产量。能源环保型固液分离技术是通过固液分离去除部分废水中的悬浮物和有机物，降低液体部分污染物负荷，提高COD的去除效率。分离的固形物回收生产有机生物堆肥。但在厌氧消化前固液分离会减少气体产生量约30%，为提高产气量，能源生态型则在厌氧消化后固液分离，分离出的沼渣作有机肥，沼液用于农田灌溉，或作液体有机肥。



无论哪种模式，为防止大的固体物进入后续处理环节，影响后续管道、设备和构筑物的正常使用。在系统前采取格栅等简单的固液分离措施都是有必要的[14]。

沼气工程的发展开始重视集中供气系统的构建。利用增、减压调节装置，用输送管道将沼气配送到用户家里，构成供气管网，这样既解决燃料问题，也提高了生活条件。目前我国各地区相继建立了较完备的专业沼气组织，同时形成了对应的管理与服务

体系，为我国沼气事业的发展提供了有力保障。在全国的规模化养殖场推广沼气工程项目，既可以实现畜禽粪便的科学利用，还能改善生态环境质量，促进畜禽养殖业健康发展，是一项具有很重要意义的惠民、生态环保的科学举措。

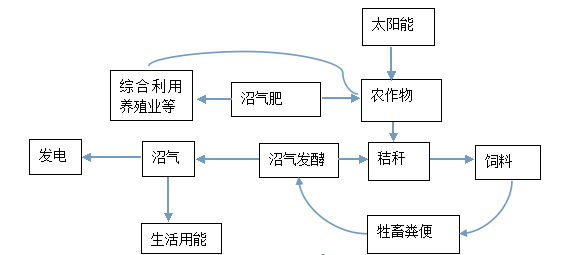
## 1.2 沼渣沼液综合利用的研究进展

养殖场沼气工程除了产生沼气外，还有两种副产品——沼渣和沼液。沼渣、沼液中富含有机氮、钾等营养成分，是很好的有机肥，沼液沼渣的合理利用不仅能促进土壤结构改良，还可以使微观农业生态环境得到改善[15]。沼肥与等量的粪尿类肥料相比，TN、

TP、TK分别提高1.65%、0.3%、1.61%，有利于保持生态平衡和改良土壤[16]。使用沼肥，使土壤的颗粒结构大为改观，土壤的肥力得到了很大的改善，使农作物的长势和农产品的产量也得到较大增长。

沼肥是一种很好的有机肥料，现在已被广泛用作栽培的基肥和育苗的基质。还作为农作物的肥料和杀菌剂喷施作物，可培育出无病虫害的绿色蔬菜、无公害的健康农产品，并作为固体有机肥的生产原料生产加工进入肥料市场销售。

通过对沼渣、沼液的综合利用，还可以减少农业生产对化学肥料的依赖，提高农产品的品质，有很好的生态效益和经济效益。沼气工程的建设形成了一种纽带，将养殖业和种植业，环境保护和资源利用联系起来，合理的、有效的利用农业生产循环的各种能流与物流转换，保持生态系统的收支平衡。以沼气为纽带的农业良性循环的体系如图所示：



沼肥的成分很复杂，各种因素的不同而差异巨大[17]。经研究沼肥的营养物质含量比较多，有多种微量元素以及腐殖酸、水解酶等物质。这些活性物质的产生与参与沼气发酵的三大微生物（产氢产乙酸菌、发酵细菌、甲烷菌）的代谢活动密切相关。

沼液是一种速缓兼备的肥料，主要用于农作物种子浸种、作物叶面喷施、水培蔬菜基肥等[18]。因而畜禽粪便经厌氧发酵后所产生的“三沼”按食物链关系，成为下一级生产活动的原料和能源。特别是沼肥的利用已成为三沼综合利用领域的关注重点[19]。

可持续发展、循环型经济和可再生能源是当今世界对环境的发展要求。沼气技术在实现废弃物资源循环利用，特别是沼气的综合利用在生态农业建设和实践中取得了丰硕成果[20]。而沼气发酵处理畜牧粪污正成为应用和推广沼气技术的重要动力。近年来，我国畜禽养殖场沼气发电工程建设力度很大，技术逐步成熟，发展速度较快。通过发展养殖场沼气工程，一定程度上解决环境污染，为农民不仅提供了沼气，又提供了沼肥，还使农业面源的污染得到有效降低，耕地的有机质含量得到较大提高，促进了农业现代化的发展，提高了农产品的质量。这种循环发展模式，根本上改变了规模化养殖所带来的环境污染，很好的利用了资源，有效的节约了能、水、肥、药等重要农业生产资源。

温度影响着沼气发酵残留物的处理效果。温度较低的发酵池虫卵和某些微生物死亡

较慢，又经常有鲜粪加入，其出料沼液和沼渣必须做杀卵灭菌处理后方可施用，以免造成二次污染。堆沤是将沼渣堆沤20-30天，温度可达50-70℃[21]。虫卵死亡率达85%-100%。堆沤时间越长，效果越好。也可以在堆沤后，加入少量氨水或石灰氮，继续堆沤1-2天，即可杀死其中虫卵。

### 1.2.1 沼渣的综合利用

畜禽粪污中的有机质在发酵过程中，不溶解或难分解的固体保留在沼渣中。沼渣中含有对作物生长起重要作用的B、Cu、Fe、Mn、Zn等微量元素[22]。沼渣的表面还吸附了许多的可溶性的养分。所以，沼渣养分较全面，有速缓兼备的肥效特点。又因为沼渣中的纤维素、木质素可以松动土壤结构，腐殖酸有利于土壤中微生物的活动以及土壤团粒结构的产生，因此沼渣具有良好的改良土壤的功能。实验表明，使用沼渣的土壤里面，土壤的理化性状得到改善，保水保肥能力增强。施用沼渣肥后土壤理化性质的变化见下表：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | pH | 有 机  质% |  | 含量% |  |  | 有效量% |  | 容重/(g/cm3) | 孔隙率/% |
|  |  | 氮 | 磷 | 钾 | 氮 | 磷 | 钾 |  |  |
| 对照 | 7.62 | 1.37 | 0.062 | 0.154 | 1.58 | 73.5 | 32.9 | 79.4 | 1.37 | 48.7 |
| 施沼肥 | 7.62 | 2.17 | 0.080 | 0.156 | 1.64 | 96.2 | 36.3 | 112.8 | 1.18 | 55.0 |

施用沼渣肥后土壤理化性质的变化

实验表明，农田施用沼肥与施用一般农家肥相比，农田产量可提高10%以上。将沼肥与化肥按比例混合施用可增产30%左右。沼肥中的大量腐殖酸类物质主要成分为胡敏酸钠，其与形成土壤团粒的数量有很大联系。实验表明，施用含量为0.05%的胡敏酸钠溶液即可使土壤自然团粒总数增加1.5倍。沼肥还能激活脲酶活性，有助于N的吸收，减少N损失，无论是酸性、中性、碱性，还是砂质、泥质土壤，均具有改良效果。

### 1.2.2 沼液的综合利用

沼液中的总固体含量小于百分之一。与沼渣相比养分含量较低，但其养分大部分是植物能够直接吸收的速效性养分。由于发酵物长期浸泡在水中，一些可溶性养分溶解转化为液态，从而形成了较高的速效性的养分。沼液成分相当复杂，在沼液中不仅有沼气微生物未利用的原料即“残留物”，还有微生物的各种代谢产物。这些代谢产物的利用开拓了现在的沼液综合利用的新的研究领域。

#### 1.2.2.1 直接作液体肥料

沼液中含有较多的速效态氮、磷、钾养分和其他丰富的微量元素，这些养分因其易吸收对于作物利用率较高[23]。目前，沼液的研究方向主要是在产量和质量上的改进。研究发现，沼液可提高玉米产量，能提高小麦植株的干物质量并增加小麦产量。张媛等用沼液与化肥配合施用能够大幅提高油菜产量，改进油菜品质；周杰良用不同含量的沼液栽培青椒时发现沼液能大幅度增加青椒的生产量，并降低青椒果实中硝酸盐的含量。实验发现施用沼液对大豆干重增长效果较显著，大豆的百粒重能够得到较大提高，增产明显，增产效果在9.38%-31.01%之间。而喷施玉米结果表明其能够使玉米穗增大，产量增幅在0.61%-5.62%之间。在水稻田中施用沼液，可以使土壤中微生物数量增加5倍以上。喷施沼液还可以增加植株中叶绿素的含量，提高植株的光合能力。施用沼液的辣椒果实中维生素C含量达到了78.28mg/kg，增加31%[24]。另外还有研究发现，沼液灌溉梨树在可以促进果实变的膨大，改善果实品质[25]。沼液的灌溉还会对土壤环境产生影响，增加了土壤有机质的含量，促进了土壤微生物的生长，从而改良土壤，有利于土壤的可持续开发利用。叶旭君等测量了连续施用沼液的农田土壤，发现土壤中有机质、A-N、A-P、A-K的含量分别比施用化肥的高的多，孔隙度也提高9.7%。李轶等发现沼渣与沼液配合施用与沼渣与化学肥料配合施用相比能够提高磷酸酶的活性，可见追施沼液比追施化肥更有利于提高土壤的呼吸强度[26]。

#### 1.2.2.2 用作叶面喷肥

沼液喷施叶面能提高叶面中叶绿素的含量，从而提高植株的光合速率，同时可调节作物代谢作用，补充养分，促进植物均衡生长，保花保果，提高商品果率。刘小刚等研究发现在红富士苹果树的叶面喷施沼液，叶片中叶绿素与对照组相比含量最高，比对照组高3.32%[27]。梁合荣研究发现葡萄叶面施用40%的沼液，比对照增产25.1%。赵曙光等研究了对线辣椒叶面喷施不同浓度沼液，其中喷施沼液浓度在50%的处理组产量最高，产量较对照组高25.24%[28]。上述实验说明对不同的农作物，喷施沼液都能提高产量，但最佳浓度根据种类不同而有所不同。

#### 1.2.2.3 作为浸种剂

沼液中含有大量的营养元素和生物活性物质，这些物质都为种子提供充足的营养需要。沼液浸种还能起到杀虫灭菌的作用[29]。沼液中有多种微生物和活性物质，可杀灭种子上的病菌，沼液中的NH4+也能杀灭种子病菌。沼液能够为种子发芽创造更适宜的温度条件，沼液温度比清水要稍高一些，更有利于种子新陈代谢，使种子的发芽率得以提高。因此，沼液浸泡种子后再去播种，可以提高成苗率，促进作物增产增收。黄东风等发现

沼液浸种能提高小麦抗旱能力和成苗率，50%沼液浸种后对小麦增产效果最佳，比对照增产24.2%。研究发现利用沼液对水稻浸种，可提高种子的发芽率，提高水稻产量，促进农民增收[30]。

#### 1.2.2.4 防治病虫害

沼液中含有丰富的丁酸、赤霉素、噪乙酸以及微生素B12[40-45]，这些物质对病菌有显著的抑制效果[31]。沼液中的NH4+和馁盐等对作物病虫有直接的杀灭作用。沼液中的维生素、氨基酸等营养物质，作物吸收后可以提高作物的抗病防虫能力。施用沼液后，能够在作物周围形成厌氧的保护圈.与病菌争夺新城代谢所需要的氧气，从而达到抗病防虫的作用。据已有报道的统计结果[32]，沼气发酵液对不同作物的近40种病害具有较好的防治效果。沼液澄清过滤后喷施，可防治柑桔的黄、红蜘蛛。使其5-6h死亡，处死率达

98.5%[36]。

#### 1.2.2.5 添加沼液喂猪

经研究认为，添加沼液喂猪能够使猪增重的主要原因是沼液中大量存在的芽孢杆菌，它能形成芽孢，其中有些细菌在芽孢形成的过程中需要释放多肽类抗菌素。芽孢对各种刺激均有很强的抵抗力，芽孢在动物猪的胃中不会被胃酸破坏，而且进入到肠道以后还能萌发成具有活性的细胞从而促进猪只的消化吸收，增强代谢，使活体增重。

#### 1.2.2.6 沼液综合利用存在的问题

（l）在沼液对改良土壤，作物增产的原理上人们做的研究还不够广泛。目前，对沼液的研究还停留在简单的对比试验，缺少科学系统的机理性研究。特别是对沼液在作物上的生理效应和营养机理，以及抗病防虫的原理缺乏深入的研究，同时沼液利用对土壤环境的影响研究还不够多。

（2）安全利用研究不足。目前养殖场中饲料添加剂等的滥用，使沼液也可能重金属超标等。研究发现[33]在实验采集的所有沼液含量检测中，As超标现象很严重，超标率为

61%。这些含重金属的沼液如果施用于作物上，会被作物吸收而进人类的食物当中去。这种风险不得不引起人们的重视。沼液作为液体肥料，因其施用量大，流动性强，如果管理不善，沼液会造成水体的富营养化[34]。随着规模化畜禽养殖业的发展，粪便污水排放更加集中，大量的沼液污水远远超过养殖场周边土地的承载能力，这种情况较为普遍，因而对沼液沼渣的科学有效利用成为当前解决畜禽养殖的环境问题并且对畜禽粪便进行资源化利用的一个重要方面[35]。目前，学界在沼液安全利用方面的研究报道不多，因此，各地应加强该方面的监测和研究。

（3）当前，人们对沼液机械化利用的工程技术研究不够多。沼液是液体肥料，其体积大，不便于运输。在实际生产上耗时耗力，因此规模化施用时必须研制发展机械化的施肥技术，从而提高使用效率和产能。

（4）对四级分离的沼液沼渣成分研究尚未见报道，不同时节四级分离沼渣沼液的成分随着工艺和温度的不同，其微生物作用会发生不同的反应，微生物含量，营养成分的不同都会给不同季节的三沼利用带来新的指导方案。

#### 1.2.2.7 今后沼液综合利用的研究方向

（l）研究沼液在作物上营养机理。这对提高农作物的养分利用率，，提高产量和质量，减少环境污染具有很强的生态效益。同时可以降低生产成本，增加农民收入，对促进区域经济的可持续发展等方面也有积极的作用[46-49]。

（2）将更加重视对沼液中的毒性重金属的含量的检测。应加快建立沼液安全利用的标准，对沼液进行含量分析、营养成分及安全利用的评价。同时还要对沼液施用进行检测，确保沼液的科学利用。

（3）重视沼液利用的工程机械研究。沼液的浓缩技术，以及沼液喷灌、滴灌等机械化施肥技术。

（4）对不同季节，主要是对炎热季节和寒冷季节（夏季和冬季）的沼液沼渣含量进行检测，对温度的影响作用进行深入研究，制定分时间的沼液沼渣利用标准。为三沼的科学化应用创造基础条件。

## 1.3 发展沼气工程开展畜禽粪污综合处理的意义

### 1.3.1 发展可再Th能源、改善能源结构的需要

能源是现代社会经济发展的支柱，全球工业化对能源的急剧消耗使能源危机日益凸显并导致一系列世界性的环境问题。进入21世纪，基于对环境保护、经济可持续发展和国家安全的考虑，许多国家对开发利用可再生能源的理性呼吁发展到制定国家战略的高度。“十二五”规划提出构筑稳定、经济、清洁的能源供应体系，加快发展可再生能源，建设资源节约型、环境友好型社会；近几年的中央一号文件都明确提出我国将加快发展农村清洁能源产业，大力推进新农村建设。故发展沼气工程，可以为保障能源安全提供支撑。

### 1.3.2 减少温室气体排放的需要

近年来，日益严重的全球变暖趋势受到世界各国的重视，温室气体减排越来越紧迫。甲烷气体的温室效应是二氧化碳的21倍，温室气体效应20%来自甲烷。如有机废弃物得不到有效利用，产生的沼气将会造成温室效应的元凶[50-53]。

### 1.3.3 保护Th态环境的需要

我国是农业大国，每年产生大量的有机废弃物。我国畜禽养殖业经过多年发展已成为我国农业和农村经济一个重要的支柱产业。但是，我国畜禽养殖带来的环境污染问题却日益严重，畜禽粪便和废水的产生量都很大。

厌氧发酵技术将有机废弃物转化为清洁能源，为循环经济的发展提供有力支持。据

2011年全国农村可再生能源统计资料，截至2010年底，大型沼气工程的数量4700处，年产沼气16亿立方米。沼气工程的建设既可以解决污染问题，保护环境，又可提供能源和肥料，有利于生态系统的良性循环和农业可持续发展[54-55]。

# 2 材料与方法

## 2.1 试验样品

本试验从沼气发电、夏季及冬季的沼液和沼渣性状三个方面阐述规模养殖场有机废弃物的综合处理方式，本部分主要讲述后两者的主要试验方法。试验中的沼液沼渣均为凤阳县族光生态养殖有限公司在沼气发电四级分离后的沼液沼渣样品。

## 2.2 样品采集时间、方式

2013年7月5日（当日平均气温25℃，最高温度35℃）和2013年11月1日（当日平均气温

5℃，最低温度0℃）分两次取样，沼渣和四级分离各级沼液各取三份。其中沼液采集后立即进行试验，对粪污原液以及沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池中沼液的微生物数量、微生物形态、维生素C含量、Ca含量、P含量、COD含量、pH值等指标进行测定。沼渣待自然风干后进行试验，对沼渣中粗脂肪含量、粗灰分含量、粗纤维含量、Ca含量、P含量、pH值、有机质含量、碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量等指标进行测定。

## 2.3 各试验处理方法步骤

### 2.3.1 沼气发电技术流程



沼气发电技术流程：

猪场粪便、尿液——厌氧发酵罐（发酵罐中温度、进料浓度、PH值控制）——沼气储气柜——发电——余热利用及固液分离——沼肥利用。其中固液分离的技术，是指厌氧发酵后的出水中含有大量的固体物质，故采用高密度过滤网、分级沉降技术，实现沼液沼渣的固液分离，并进行沉降，实现沼液、沼渣的固液分离。

### 2.3.2 试验试剂

牛肉膏3g；蛋白胨10g；氯化钠5g；琼脂粉15g；硫酸钾；硫酸；2％硼酸溶液；40％氢氧化钠溶液；0.01M HCL标准溶液；丙酮；乙醚；10%硫酸铜溶液；2%草酸溶液；0.1

mol/L(I2)碘标准滴定溶液；0.88mg/mL维生素C标准溶液；1.84g/mL硫酸；1.4g/mL硝酸；

0.5mol/L稀硫酸；4%氢氧化钠溶液；50g/L过硫酸钾溶液；100g/L的Vc溶液；磷标准贮备溶液；10g/L酚酞溶液；K2Cr2O7标准溶液；试亚铁灵指示剂；0.1mol/L硫酸亚铁铵标准溶液；硝酸；高氯酸（70%）；盐酸溶液；氨水溶液；草酸铵水溶液（42g/L）；高锰酸钾标准溶液；甲基红指示剂（1g/L）；钒钼酸显色剂；磷标准液；0.136mol/LK2Cr2O7-H2SO4的标准溶液；0.2mol/LFeSO4标准溶液；邻啡罗啉指示剂；

1.8mol/L氢氧化钠溶液；1.2mol/L氢氧化钠溶液；2%硼酸溶液；0.01mol/L盐酸标准溶液；中性1.0mol/LNH4OAc溶液；K标准溶液。

### 2.3.3 试验器材

超净工作台；显微镜；培养皿；水浴锅；涂布棒；三角瓶；接种环；酒精灯；KDN-08A定氮仪；100m1定氮瓶1只；150ml三角瓶3只；50ml、l0ml、l00m量筒；10ml吸量管只；酸式滴定管1支；50ml、100ml容量瓶1只；小漏斗1只；pH仪；广泛pH试纸；滴定管；电加热炉；移液管；玻璃棒；烧杯；洗耳球；滴管；分析天平；比色管；分光光度计；

250mL全玻璃回流装置；可调节大小的四联电炉；50ml锥形瓶；100ml容量瓶；样品粉碎机；分样筛（孔径0.45mm）；高温炉；电加热（可控制温度在550土20℃）；瓷坩埚；

6cm直径玻璃漏斗；定量滤纸；10ml、20ml移液管；200ml烧杯；250ml凯氏烧瓶；420nm分光光度计；消煮器；干燥器；马弗炉；干燥器；吸水纸；滴瓶(50ml)；试管夹；吸耳球；试剂瓶(500ml)；pH S-3C酸度计；标准缓冲液；微量滴定管；恒温箱；玻璃棒；毛玻璃；皮筋；吸管(2ml和10ml)；角匙；瓷盘；往复振荡机；电子天平(1/100)；坐标纸；擦镜纸；小滴管；火焰光度计。

### 2.3.4 试验方法

|  |  |
| --- | --- |
| 试验内容 | 试验方法 |
| 沼液中菌落总量、形态、染色 | 培养基培养、计数、革兰氏染色、形态观察 |
| 沼液中蛋白质含量的测定 | 凯氏定氮法 |
| 沼液中维生素C含量的测定 | GB/T 12143.3-89 |
| 沼液pH的测定 | pH仪 |
| 沼液中磷的测定 | GB 11893-89 |
| 沼液化学需氧量（COD）的测定 | K2Cr2O7法 |
| 沼渣中钙含量的测定 | GB/T6437-2002 |
| 沼渣中磷含量的测定 | GB/T6436-2002 |
| 沼渣中粗纤维的测定 | 酸碱消解法 |
| 沼渣中粗灰分的测定 | GB/T 6438-2007 |
| 沼渣有机质的测定 | K2Cr2O7容量法 |
| 沼渣pH值的测定 | pH S-3C酸度计 |
| 沼渣中水解性氮的测定 | 碱解扩散法 |
| 沼渣中速效磷的测定 | 碳酸氢钠法 |
| 沼渣速效钾的测定 | 醋酸铵火焰光度计法 |

## 2.4 试验数据处理方法

本试验的所有数据均用SPSS 16.0软件进行处理，差异显著水平为*P*＜0.05，数据处理均用平均数±标准误表示(Mean±SE) 。

# 3. 结果与分析

## 3.1 提高猪场粪污Th产沼气效果的研究

### 3.1.1 冬季大型厌氧发酵中温发酵技术

沼气反应罐的底部开有进料口，进料口处连接有进料管，罐体底部有多根均匀排列的加热管，罐体外壁周围盘绕有加热盘管。该罐体结构简单，采用底部进料方式，使进料介质得到充分加热和罐体反应温度达到一致。冬季产气量能达到1.16m3/m3/d，是其他季节产能的70%左右，达到了均衡产气的要求。



### 3.1.2 应用发酵介质热能利用装置

安装热交换器将这些热能用水做介质予以回收，用于发酵罐体介质的加热，以满足发酵温度的要求。试验中应用的一种发酵介质的热能利用装置，包括有沼气发酵罐，反应罐外壁有加热盘管，其特征在于，所述柴油发电机排气管通过气管连接有热交换器换热，所述热交换器的进出水口之间连接加热盘管。应用发酵介质的热能利用装置后，当发电机效能达到38%时，热效率可达42%，总效率可达80%以上。大量的余热可以充分

用于厌氧发酵罐的保温和增温。



### 3.1.3 调浆池内设计安装搅拌装置

试验中的调浆池，包括有方体状池子，池子的进口处设有进料斗，池子内装有转轴，转轴的底部固定安装有锚式搅拌桨，池子的侧壁上连接有污水泵。能使块状猪粪和液体进行充分的均匀搅拌，进入反应器能够均匀反应，可使有机废弃物原料进入发酵罐里面达到最佳反应条件。



### 3.1.4 发酵介质pH值的可调节

调节发酵介质pH值，能够提高厌氧发酵效果。介质进入反应器前的pH值控制是非

常重要的，一般情况下，大型养殖场用酸性消毒剂进行消毒和大量水进行冲洗，造成尿液pH值偏酸或中性，满足不了pH值7.5-8.0的要求。因此，需要在进料前进行pH值调节。本试验用的是一种能调节发酵介质pH值的调浆池，在池子的顶部开有加料口，向加料口内添加石灰或者氢氧化钠，试验中可以达到发酵所需的适宜pH。

## 3.2 夏季、冬季两个季节粪污原液微Th物的变化

### 3.2.1 夏季、冬季粪污原液微Th物数量的变化

由图1可知，在对夏季采集的粪污原液进行需氧环境培养和厌氧环境培养的试验中

发现，需氧环境培养下的菌落总数为9×10 6个/ml，厌氧环境培养下的菌落总数为5×10 6个/ml。在对冬季采集的粪污原液进行需氧环境培养和厌氧环境培养的试验中发现，需氧环境培养下的菌落总数为4×10 6个/ml，厌氧环境培养下的菌落总数为2×10 6个/ml。夏季和冬季需氧环境培养下的菌落总数差异显著（*P*<0.05）。同样，夏季和冬季厌氧环境培养下的菌落总数差异显著（*P*<0.05）。

12

\*

10

8

6夏季

**总菌落数**

冬季

4

2

0

需氧环境培养厌氧环境培养

图1 .夏季、冬季粪污原液微生物数量的变化（单位：106/毫升）

Figure 1. Change of the number of waste liquid microbial in summer and winter(unit: 106/ml)

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference

### 3.2.2 夏季、冬季粪污原液不同形态微Th物数量的变化

如图2所示，夏季采集的粪污原液中培养出的杆状细菌数量为4.77×10 6个/ml，弧

状细菌数量为5.67×10 5个/ml，球状细菌数量为6.67×10 5个/ml，链状细菌数量为8.33×10 5

个/ml，不规则形状的细菌数量为7.67×10 5个/ml。冬季采集的粪污原液中培养出的杆状

细菌数量为2.70×10 6个/ml，弧状细菌数量为1.67×10 5个/ml，球状细菌数量为2.00×10 5

个/ml，链状细菌数量为4.00×10 5个/ml，不规则形状的细菌数量为5.00×10 5个/ml。夏季不同形态细菌的数量与冬季的比较发现：各形态的细菌数量夏季的要明显高于冬季，差异显著（*P*<0.05），其中球状细菌数量的差异极显著（*P*<0.01）。

\*

\*

\*\*

\*

\*

60

50

40

30夏季

**菌数**

冬季

20

10

0

杆状弧状球状 链状 不规则形状

图2 夏季、冬季粪污原液不同形态微生物数量的变化（单位：105个/毫升）

Figure 2. The change of microbe quantity of waste ones in summer and winter, (unit: 105/ml).

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.2.3 炎热季节与寒冷季节对粪污原液中细菌革兰氏染色效果的影响

如图3所示，对细菌进行革兰氏染色试验发现夏季采集的粪污原液中革兰氏阳性的

细菌为3.67×10 6 个/ml，革兰氏阴性的细菌为5.07×10 6 个/ml，未着色的细菌数量为

6.22×10 5个/ml，冬季采集的粪污原液中革兰氏阳性的细菌数量为2.53×10 6个/ml，革兰

氏阴性的细菌数量为3.87×10 6个/ml，未着色的细菌数量为3.00×10 5个/ml。夏季与冬季试验比较发现，夏季细菌总数多于冬季，且革兰氏染色中夏季的革兰氏阳性的细菌数量和革兰氏阴性的细菌数量均与冬季的有明显差异（*P*<0.05）。

\*\*

\*

\*\*

60

50

40

30夏季

**菌数**

冬季

20

10

0

革兰氏阳性革兰氏阴性未着色

图3 炎热季节与寒冷季节对粪污原液中细菌革兰氏染色效果的影响（单位：106个/毫升）

Figure 3. Hot season and cold season in waste liquid bacteria gram staining effect(unit:106/ml).

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

## 3.3 固液分离对沼液沼渣养分含量、理化性质的影响

### 3.3.1 四级分离过程中沼液粗蛋白含量的变化

如图4所示，夏季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液CP含量分别为：0.25%、0.29%、0.16%、0.3%。冬季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液CP 含量分别为：

0.24%、0.27%、0.15%、0.29%。夏季和冬季的沼液收集池和混凝沉淀池这两个池中沼液CP含量夏季明显大于冬季，差异显著（*P*<0.05），而水解酸化池与曝气池两个池中的沼液CP含量夏季同样明显大于冬季，差异极显著（*P*<0.01）。横向比较，混凝沉淀池中沼液CP含量最高，曝气池中沼液CP含量最低。含量变化的趋势为沼液收集池到水解酸化池上升，然后到曝气池有所下降，曝气池中沼液粗蛋白的含量最低，在混凝沉淀池中粗蛋白含量有上升，表明四级分离对沼液粗蛋白的含量产生了一定影响。

\*\*

\*

\*

\*\*

0.35

0.30

0.25

**粗蛋白浓度（%）**

0.20

夏季

0.15冬季

0.10

0.05

0.00

沼液收集池水解酸化池曝气池混凝沉淀池

图4 四级分离过程中沼液粗蛋白含量的变化（单位：%）

Figure 4. Change of biogas slurry crude protein content in the four level separation process (unit: %).

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.3.2 四级分离过程中沼液Vc含量的变化

由图5 可知，夏季和冬季测定沼液收集池中的沼液Vc 的含量分别为0.45g/L、

0.41g/L，差异不显著（*P*＞0.05），夏季和冬季测定水解酸化池中沼液Vc的含量分别为

0.35g/L、0.17g/L，差异极显著（*P*<0.01）。夏季和冬季测定曝气池中沼液的Vc的含量分别为0.09g/L、0.06g/L，差异显著（*P*<0.05）。夏季和冬季测定混凝沉淀池中沼液Vc的含量分别为0.45g/L、0.24g/L，差异极显著（*P*<0.01）。各池比较发现，夏季混凝沉淀池、沼液收集池中沼液Vc的含量最高，其次是水解酸化池，曝气池中沼液Vc的含量最低，曝气池中沼液Vc的含量和其他三个池的沼液Vc的含量差异极显著（*P*<0.01）。冬季沼液收集池中沼液Vc的含量最高，其次是混凝沉淀池、水解酸化池，同样是曝气池中沼液Vc的含量最低，沼液收集池中沼液Vc的含量与其他三个池的沼液Vc的含量差异极显著（*P*<0.01）。含量变化的趋势为沼液收集池到水解酸化池，到曝气池都在持续下降，曝气池中沼液的Vc含量最低，在混凝沉淀池中Vc含量有上升，表明四级分离对沼液Vc的含量产生了一定影响。

\*\*

\*\*

\*

0.6

0.5

0.4

0.3夏季

冬季

0.2

0.1

0

沼液收集池水解酸化池曝气池混凝沉淀池

图5 四级分离过程中沼液Vc含量的变化

Figure 5. Change of biogas slurry Vc content in the four level separation process.

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.3.3 四级分离过程中沼液pH的变化

由图6可知，夏季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液pH分别为：7.53、7.27、8.45、7.63。冬季从上述四池中采集的沼液

pH分别为：7.61、7.07、8.11、7.13。夏季和冬季的沼液收集池中沼液pH差异不显著

（*P*> 0.05），夏季和冬季的水解酸化池中沼液pH差异显著（*P*<0.05），夏季和冬季的曝气池和混凝沉淀池中沼液pH差异极显著（*P*<0.01）。同时测定了粪污原液的pH以作为以上四个沼液储存池的比较，夏季和冬季的粪污原液的pH分别为8.06和8.14，差异不显著（*P*> 0.05）。横向比较看来，夏季的沼液收集池和混凝沉淀池pH差异不显著

（*P*> 0.05），其他池中沼液包括粪污原液相比pH差异极显著（*P*<0.01）。冬季沼液收集池pH与其他池中沼液包括粪污原液相比pH差异极显著（*P*<0.01），水解酸化池和混凝沉淀池pH比较差异不显著（*P*> 0.05），曝气池和粪污原液pH相比较差异不显著

（*P*> 0.05）。pH变化的趋势为沼液收集池到水解酸化池先下降，再到曝气池呈上升趋势，水解酸化池中沼液的pH最低，在混凝沉淀池中pH有所上升。

\*\*

\*\*

\*\*

\*\*

\*\*

9

8

7

6

5

**沼液PH**

夏季

4夏季

3

2

1

0

沼液收集池水解酸化池曝气池混凝沉淀池粪污原液

图6 四级分离过程中沼液pH的变化

Figure 6. Change of biogas slurry pH content in the four level separation process .

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.3.4 四级分离过程中沼液钙含量的变化

如图7所示，夏季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液钙的含量分别为：5.13mg/L、7.56mg/L、4.69mg/L、10.35mg/L。冬季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液钙的含量分别为：18.00mg/L、20.83mg/L、14.17mg/L、26.29mg/L。夏季与冬季四个池沼液钙含量相比较差异极显著（*P*<0.01）。同时测定了夏季和冬季粪污原液中的钙的含量，分别为17.03mg/L、17.64mg/L，差异不显著（*P*> 0.05）。有一个相同的规律是，夏季各池中沼液钙含量远远低于冬季，且曝气池中沼液钙含量最低，曝气池中沼液钙含量与其他池包括粪污原液相比较差异极显著（*P*<0.01）。

\*\*

\*\*

\*\*

\*\*

30

25

20

**沼液钙含量（mg/L）**

15夏季

冬季

10

5

0

沼液收集池水解酸化池曝气池混凝沉淀池粪污原液

图7 四级分离过程中沼液钙含量的变化（单位：mg/L）

Figure 7. Change of biogas slurry Ca content in the four level separation process(unit: mg/L).

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.3.5 四级分离过程中沼液磷含量的变化

如图8所示，夏季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液磷的含量分别为：36.61mg/L、31.95mg/L、27.47mg/L、32.86mg/L。冬季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液磷的含量分别为：40.07mg/L、35.62mg/L、31.65mg/L、38.21mg/L。夏季与冬季四个池沼液磷含量相比较差异极显著（*P*<0.01）。同时我们测定了夏季和冬季粪污原液中的磷的含量，分别为31.92mg/L、31.96mg/L，差异不显著（*P*> 0.05）。横向比较，夏季的水解酸化池与混凝沉淀池的沼液磷含量差异显著*（P*<0.05），与其他池相比较差异极显著

（*P*<0.01）。冬季曝气池中沼液和粪污原液的磷含量差异不显著（*P*> 0.05），其他各组之间差异极显著（*P*<0.01）。含量变化的趋势为粪污原液钙含量到沼液收集池下降，沼液收集池到水解酸化池钙含量上升，水解酸化池钙含量到曝气池有所下降，曝气池中沼液钙的含量最低，在混凝沉淀池中钙含量有所上升。

\*\*

\*\*

\*\*

45

40

35

**沼液磷浓度（mg/L）**

30

25

夏季

20冬季

15

10

5

0

沼液收集池 水解酸化池 曝气池 混凝沉淀池 粪污原液

图8 四级分离过程中沼液磷含量的变化（单位：mg/L）

Figure 8. Change of biogas slurry P content in the four level separation process(unit: mg/L).

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.3.6 四级分离过程中沼液COD含量的变化

由图9可知，夏季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液磷的含量分别为：4187.33mg/L、3185.33mg/L、750mg/L、384mg/L。夏季各池沼液磷的含量比较而言差异极显著（*P*<0.01）。冬季从沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池这四个沼液处理池中采集的沼液磷的含量分别为：5036mg/L、

3407.33mg/L、773.33mg/L、417.33mg/L。冬季各池沼液磷的含量比较而言差异极显著

（*P*<0.01）。同时采集的粪污原液中COD 含量夏季和冬季分别为6882.33mg/L、

6929mg/L。两者差异不显著（*P*> 0.05）。纵向比较，夏季和冬季沼液收集池和水解酸化池中COD的差异极显著（*P*<0.01），混凝沉淀池中COD含量差异显著（*P*<0.05）。夏季与冬季曝气池中的COD含量差异不显著（*P*> 0.05），含量变化的趋势为粪污原液COD含量到沼液收集池、水解酸化池、曝气池、混凝沉淀池均是下降，表明四级分离很好的降低了沼液中的COD含量，COD去除率达到90%以上。

\*\*

\*\*

8000

7000

6000

**沼液COD（mg/L）**

5000

4000夏季

3000冬季

2000

1000

0

沼液收集池水解酸化池曝气池混凝沉淀池粪污原液

图9 四级分离过程中沼液COD含量的变化（单位：mg/L）

Figure 9. Change of biogas slurry COD content in the four level separation process(unit: mg/L).

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.3.7 夏季和冬季四级分离后沼渣钙磷含量的变化

如图10所示，夏季和冬季沼渣中钙的含量分别为842.9mg/kg、791.37mg/kg，差异显著（*P*<0.05）。夏季和冬季沼渣中磷的含量分别为1001.86mg/kg、764.31mg/kg，差异极显著（*P*<0.01）。冬季和夏季的沼渣中钙的含量相差较大，差异显著（*P*<0.05）。

1200

\*\*

\*

1000

800

600夏季

冬季

400

200

0

钙磷mg/kg

图10 夏季和冬季四级分离后沼渣钙磷含量的变化（单位：mg/kg）

Figure 10. Change of biogas residue Ca and P in summer and winter in four level separation process (unit: mg/kg).

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.3.8 夏季和冬季四级分离后沼渣中粗脂肪、粗灰分、粗纤维含量的变化

如图11所示，夏季和冬季沼渣中粗脂肪的含量分别为9.41%、11.71%，差异显著

（*P*<0.05）。夏季和冬季沼渣中粗灰分的含量分别为36.12%、42.06%，差异显著（*P*<0.05）。夏季和冬季沼渣中粗纤维的含量分别为27.21%、25.04%，差异显著（*P*<0.05）。其中冬季沼渣粗脂肪和粗灰分含量高于夏季，而粗纤维含量夏季高于冬季。

45%

40%

35%

30%

25%

20%

15%

10%

5%

0%

夏季冬季

粗脂肪粗灰分粗纤维

\*

\*

图11 夏季和冬季四级分离后沼渣中粗脂肪、粗灰分、粗纤维含量的变化（单位：%）

Figure 11. Change of biogas residue crude fat ash，CF, content in summer /winter in four level separation process

(Unit: %).

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

### 3.3.9 夏季和冬季四级分离后沼渣pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量的变化

由图12可知，夏季和冬季沼渣的pH分别为7.85、7.56，差异显著（*P*<0.05）。夏季和冬季沼渣有机质含量分别为463.9g/kg、540.36g/kg，差异极显著（*P*<0.01）。夏季和冬季沼渣碱解氮的含量分别为509.33mg/kg、767.67mg/kg，差异极显著（*P*<0.01）。夏季和冬季沼渣中速效磷含量分别为1.55g/kg、5.60g/kg，差异极显著（*P*<0.01）。夏季和冬季沼渣速效钾的含量分别为3.38g/kg、2.09g/kg，差异极显著（*P*<0.01）。其中速效钾的含量夏季高于冬季，有机质、碱解氮、速效磷的含量冬季要高于夏季。

\*\*

\*\*

夏季

冬季

\*

\*\*

\*\*

1000

100

10

1

PH有机质（g/kg）碱解氮(mg/kg)速效磷（g/kg）速效钾（g/kg）

图12 夏季和冬季四级分离后沼渣pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量的变化

Figure 12. Change of biogas residue pH, organic matter, AP, AK, AN content in summer /winter in four level separation process.

注：\*差异显著；\*\*差异极显著

Note: \* significant difference; \* \* extremely significant difference.

# 4. 讨论

## 4.1 提高猪场粪污Th产沼气效果的研究

冬季的气温较低，其中发酵罐介质温度只有5-10℃，国内普遍采用加热管沿罐体四周进行排列加热，但这种方式只能解决罐体的保温问题，不能解决介质的加温问题。介质进入反应罐后没有加热不能和罐体反应温度达到一致。有人曾经利用太阳能偶联沼气锅炉联合增温的方式解决寒冷地区冬季低温下沼气工程正常均衡产气问题[56]，对畜禽粪便面源污染控制具有重要的示范效应。本试验中采用的沼气反应罐的底部开有进料口，进料口处连接有进料管，罐体底部有多根均匀排列的加热管，罐体外壁周围盘绕有加热盘管。该罐体结构简单，采用底部进料方式，使进料介质得到充分加热和罐体反应温度达到一致。冬季产气量能达到1.16m3/m3/d，是其他季节产气率的70%左右，也达到了均衡产气的要求。

应用发酵介质热能利用装置，可以促进发酵罐的保温和增温。根据目前的技术，发电机做功只用去热能的35%-40%，多余的热能使其排出气体的温度达到450-520℃，导致这些大量的热能不能被利用，造成能源的浪费。2012年国家知识产权局报道了南京通用电气装备有限公司在沼气发电工程中发酵罐加热系统。其采用的发酵罐加热系统，包括水箱、太阳能集热器构成的太阳能加热系统和风力发电机、蓄电池、逆变器和电加热器构成的风力发电加热系统，水箱的热水出口分别与进料预热装置的进出水口、厌氧发酵罐内的加热盘管的进水口相通，电加热器的进水口和出水口分别通过电加热器回水管和电加热器出水管与水箱的出水口、进水口相通。该系统充分利用了太阳能集热器和风力发电加热系统的集成优势，有效的保持了冬季罐中的发酵温度（南京通用电气装备有限公司，2012）。在本试验中通过安装热交换器将这些热能用水做介质予以回收，用于发酵罐体介质的加热，以满足发酵温度的要求。试验中应用的一种发酵介质的热能利用装置，包括有沼气发酵罐，反应罐外壁有加热盘管，其特征在于，所述柴油发电机排气管通过气管连接有热交换器换热，所述热交换器的进出水口之间连接加热盘管。应用发酵介质的热能利用装置后，当发电机效能达到38%时，热效率可达42%，总效率可达80%以上。大量的余热可以充分用于厌氧发酵罐的保温和增温。该结构简单，设备投入低，能有效利用多余的热能，提高工作效率和经济效益。

采用厌氧发酵系统处理畜禽粪便是一种经济可行的处理方式。几乎所有的沼气厌氧

发酵工艺在中国都有应用。本试验的固液分离选择高密度的过滤网进行过滤，并进行沉降，实现沼液、沼渣的固液分离。能源环保型采用先分离、后厌氧消化，以改善出水水质；能源生态型则采用先厌氧消化、再将厌氧残留物进行固液分离，以提高沼气产量。能源环保型固液分离技术是通过固液分离去除部分废水中的悬浮物和有机物，降低液体部分污染物负荷，提高COD的去除效率。分离的固形物回收生产有机生物堆肥。但在厌氧消化前固液分离会减少气体产生量约30%，为提高产气量，能源生态型则在厌氧消化后固液分离，分离出的沼渣作有机肥，沼液用于农田灌溉，或作液体有机肥。

## 4.2 四级分离对沼液各性状的影响

在两个环境温度差异很大的时间段采集沼液样品并测定其中的各项指标，温度是最大的影响因素。高温条件下厌氧发酵的微生物更加活跃，导致发酵过程更加完全，从而造成之后的各项指标差异很大。这既能够作为对沼气工程各项环节处理性能的判断依据，也为今后对夏季和冬季沼液沼渣分类指导的合理利用提供基础性的数据。

在四个沼液池中，沼液从发酵罐中排出后首先进入沼液收集池，之后进入水解酸化池。水解是有机物在胞外进行的以微生物起主要作用的生化反应[36]。水解酸化-耗氧生物处理工艺中的水解目的主要是将原有废水中的非溶解性有机物转变为溶解性有机物，特别是将其中生物难降解的有机物转变为生物易降解的有机物，提高废水的可生化性，以利于后续的耗氧处理。因为之后的好氧消化需要大量的能量作支撑，水解主要用于经处理后而难以降解的粪污水[57-59]。沼液在水解酸化池中停滞6小时，之后进入曝气池。曝气是需氧性生物处理方法，在曝气处理过程中，为使微生物活动得以维护，需要确保水中有足够的溶解氧。曝气的处理方式将空气用机械设备搅拌打入水中。沼液在曝气池停滞6小时之后进入混凝沉淀池，沼液进入混凝沉淀池在混凝剂的作用下，使发酵后粪污废水中的细微悬浮物凝聚成为凝胶，然后将其分离除去的处理方法。它既可以改善水质的感观指标，也能去除多种有毒害作用的重金属杂质。

在将夏季和冬季两个时间点采集的粪污原液进行微生物培养中，需氧环境培养下的菌落总数差异显著（*P*<0.05）。同样，夏季和冬季厌氧环境培养下的菌落总数差异显著

（*P*<0.05）。夏季不同形态细菌的数量与冬季的比较发现：各形态的细菌数量夏季的要明显高于冬季，差异显著（*P*<0.05），其中球状细菌数量的差异性极显著（*P*<0.01）。革兰氏染色中夏季的革兰氏阳性的细菌数量和革兰氏阴性的细菌数量均与冬季的有明显差异（*P*<0.05），这一结论与路振香等人的试验结果相近[37]，说明温度的高低直接影

响微生物的生长发育，在冬季需要我们注意发酵罐的保温，确保微生物的正常生长发育，尤其是产甲烷菌的正常新陈代谢[60]。产甲烷细菌都属于厌氧菌，部分不产甲烷菌也严格厌氧，厌氧菌总数的多少是对沼气产气率高低最根本的影响因素。沼液中细菌含量、细菌种类的数量变化除了跟温度有关以外，还与环境的湿度、pH值、所添加的发酵原料的成分、发酵原料的数量以及添加时间等因素有关[61-63]。本试验中没有对影响炎热季节和寒冷季节沼液中的细菌含量变化因素做出具体性的研究和分析，有待于进一步的研究。

在营养成分的测定比较中，夏季和冬季池中沼液粗蛋白含量、Vc含量相比较，夏季明显大于冬季，差异显著（*P*<0.05），这与前人的研究结果相近（张媛等，2007），但钙磷的含量是夏季明显低于冬季，差异显著（*P*<0.05）。冬季沼液收集池pH与其他池中沼液包括粪污原液相比pH差异极显著（*P*<0.01），水解酸化池和混凝沉淀池pH比较差异不显著（*P*> 0.05），曝气池和粪污原液pH相比较差异不显著（*P*> 0.05）。发酵温度与沼液中维生素C的关系，温度主要是通过影响微生物细胞膜的流动性来影响微生物的生命活动。随着温度的升高，一方面细胞内酶反应速率加快，新陈代谢也随之加快。故合成维生素C的能力加强。温度上升，沼液的维生素C增加是因为微生物合成维生素C和蛋白质的能力随着温度升高而上升。不同温度对沼液蛋白质浓度的影响，夏季和冬季的沼液收集池和混凝沉淀池这两个池中沼液粗蛋白含量夏季明显大于冬季，差异显著

（*P*<0.05），而水解酸化池与曝气池两个池中的沼液粗蛋白含量夏季同样明显高于冬季，差异极显著（*P*<0.01）。温度的影响主要是由于沼液中的蛋白质在微生物的作用下分解成肽和氨基酸，当光照强大时有一部分氨基酸会被挥发掉，从化学平衡的角度来讲，反应会向着生成氨基酸的方向进行，从而蛋白质的含量发生变化。

夏季和冬季沼液收集池和水解酸化池中COD的差异极显著（*P*<0.01），混凝沉淀池中COD含量差异显著（*P*<0.05）。夏季与冬季粪污原液及曝气池中的COD含量差异不显著（*P*> 0.05）。这说明温度对沼液中COD含量的影响作用较大，与前人的研究结果相似[38]，四级分离后的COD含量大幅下降，达到了去除COD，达标排放的要求。

## 4.3 四级分离对沼渣各养分含量的影响

沼渣是粪污在厌氧发酵充足后留下的固体产物，本试验通过两个季节的温度的不同来探索其养分含量的高低。夏季和冬季的沼渣中钙的含量相差较大，差异显著（*P*<0.05），而夏季和冬季沼渣中磷的含量变化不大，差异不显著（*P*> 0.05），这些和前人研究的结

果接近[39]，由于夏季和冬季发酵罐中发酵效果有较大差异，在其中的生物化学反应使固体粪污发生的变化不一导致各组分的变化趋势不相同。冬季沼渣粗脂肪和粗灰分含量高于夏季，而粗纤维含量夏季高于冬季，且差异显著（*P*<0.05）。目前尚没有人对此展开研究，这可能既与发酵罐内的发酵过程有关也和发酵原料中本身的粗纤维含量有关，不同季节的采食、消化代谢情况的不同导致进发酵罐前的含量不同[64]。速效钾的含量夏季高于冬季，有机质、碱解氮、速效磷的含量冬季要高于夏季，差异极显著（*P*<0.01）。说明温度对其中成分的影响较大[65]，这对后续沼渣的合理利用提供了参考作用。

夏季和冬季的温度差异很大，是研究沼液沼渣性状差异性的很好的两个季节选择。目前，国内外对沼液沼渣的利用已有较多研究，但对不同季节的使用尚无合理规划[66]。本试验对其不同温度下的沼液沼渣养分含量的影响，为之后的进一步研究提供了依据。

# 5. 结论

1. 在沼气发电过程中增加罐体加热装置和发酵介质热能利用装置，可以促进发酵罐的保温和增温，提高寒冷季节的产气效率，采用高密度过滤网可以有效的实现对发酵后沼液、沼渣的固液分离。

2. 冬季和夏季两个季节的四级分离的各阶段中沼液中的粗蛋白、Vc含量夏季显著高于冬季，沼液中钙磷含量夏季显著低于冬季，沼渣中钙磷含量夏季显著高于冬季。

3. 粪污微生物培养、染色、计数的试验发现，夏季粪污原液的细菌总数显著高于冬季，且各形态细菌和革兰氏阴性菌的数量较冬季相比高很多。

4. 在沼液COD、pH的比较上，粪污原液中这两个季节的差异不大，发生差异主要是在四级分离之后。冬季最终排出的沼液COD要高于夏季，pH低于夏季。通过四级分离达到了去除COD的目的。

5. 四级分离后的沼渣中粗脂肪和粗灰分含量冬季高于夏季，而粗纤维含量夏季显著高于冬季，速效钾的含量夏季显著高于冬季，有机质、碱解氮、速效磷的含量冬季要显著高于夏季。

# 6. 参考文献

[1]李幼霞.沼气系统在持续农业发展中的作用与地位[J]. 环境报,2011, 21(6)：29-31. [2]黄海明，傅忠，肖贤明等.氨氮废水处理技术效费分析及研究应用进展[ J]. 化工进展，

2009, 28(9): 1642-1646.

[3] Dahiya A K, Vasudevan P. Biogas plant slurry as an alternative to chemical fertilizers [J].

Biomass,2010,9(1): 67-74.

[4]陈庆今，固体有机垃圾厌氧消化研究进展[J]. 中国沼气,2001, 19(4)：11-14.

[5]宋宝增，徐庆元.城市生活垃圾发酵制肥[J]. 四川环境,1999，l8(4):12-16.

[6]张媛，洪坚平，任济星，等.沼液对油莱产量及品质的影响[J]. ft西农业科学,2007, 3(1)：7-9.

[7]雷电，王东晖等.污水自然生物处理组合技术研究进展[J]. 科技情报开发与经济. 2005，

15(5):267-269.

[8]邓良伟.猪场废水处理新工艺研究[D]. 浙江大学.2007.

[9] Yazdani R, Augent send, Paeey J, Proceedings of California Inter gated Water Management Board Symposium on Land fill Gas Assessment and Management[M]. 2000.

[10] Banik S, Nandi R. Effect of supplementation of rice straw with biogas residual slurry manure on the yield, protein and mineral contents of oyster mushroom[J]. Industrial Crops and Products,2004, 20(3): 311-319.

[11]颜智勇，吴根义等. UASB化学混凝工艺处理养猪废水[J]. 中国给水排水,2007,

23(4):66-68.

[12]邓良伟，郑平，李淑兰等.添加原水改善SBR工艺处理猪场废水厌氧消化液性能[J]. 环境科学,2005, 26(6)：107-111.

[13] R. K. Gupta, V. R. Sharma, K. N. Shrma, Increase the Yield of Paddy and Wheat with the Application of Biogas Slurry[J], Progressive Farming, 2002,67(39): 22-24.

[14]孙振钧，孙永明.反应器与废弃物肥料化技术[M]. 北京：化学出版社,2004。

[15] Neil J. McNab, Jeff C. Hughes And John R. Howard. Pollution effects of wastewater sludge application to sandy soils with particular reference to the behaviour of mercury

[J]. Applied Geochemistry, 2007,12(6):321-323.

[16]陈维志，丁秀华.沼渣对日光温室改土作用的研究[J]. 农村能源,2005, 13(5):17-28. [17] Terhoeven-Urselmans T, Scheller E, Raubuch M. CO2evolution and N mineralization after

Biogas slurry application in the field and its yield effects on spring barley[J]. Applied

Soil Ecology, 2009,42(3): 297-302.

[18]董德林.沼液分层次利用效果的初步研究[J]. 中国沼气,1996, 14(2)：34-37.

[19]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.

[20]叶旭君，王兆赛，李全胜.以沼气工程为纽带的生态农业工程模式及效益分析[J]. 农业工程学报,2000, 16(2)：78-81.

[21]王永智，任永春.沼气开发与生态环境保护[J]. 中国沼气,2002, 7(4)：46-48.

[22]李伟，戴亨林，蔡国学.有机复混肥料的肥料效应初探[J]. 磷肥与复肥,2003, 18(2)：66-69.

[23]梁晶，王俊.沼液在植保中的应用技术[J]. 安徽农学通报,2007, 13(18):56-60.

[24]吴建敏，承尧兴.能源生态环保型沼气工程的实践与思考[J]. 农业环境与发展, 2007，

9(5):45-47.

[25]张玉霞，王正银，钟攀，等.沼液与化肥和有机肥配施对桃产量和品质的效应[J]. 中国沼气, 2007, 25(5)：90-92

[26]李轶，刘庆玉，张玉龙，等.沼肥对保护地土壤酶及其呼吸强度的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007，(5)：37-42.

[27]刘小刚，李丙智，张林森等.追施沼液叶红富士苹果品质及叶片生理效应的影响[J]. 西北农业学报,2007, 16(3)：29-34.

[28]赵曙光，任广鑫，杨改河，等.线辣椒叶面喷施沼液的效应[J]. 西北农业学报,2007, 16（3）：

20-24.

[29]陈仙平，曹群芳.不同浓度沼液浸种对杂交水稻种子发芽率成秧率的影响[J]. 福建稻麦科技，2008, 26(3)：10-12.

[30]朱国美.水稻沼液浸种综合利用示范研究初探[J]. 安徽农学通报, 2007, 13 (22)：10-13.

朱宏伟.生活垃圾综合处理技术.环境卫生[J], 2003, 11(4):208-210.

[31] Weil and P, Rieger C, Ehrmann T. Evaluation o f the newest biogas plants in Germ any with respect to renewable energy production, greenhouse gas reduction and nutrient management [ J]. Proceedings o f The future o f biogas in Europe, 2003, 8(9):123-129.

[32]张无敌，刘士清，赖建华，等.厌氧消化残留物在防治农作物病虫害中的作用[J]. 中国沼

气, 1996, 14(l):78-79.

[33]林积秀.沼液在防治柑枯红蜘蛛上的应用[J]. 中国沼气,2006, 23(3)：24-30.

[34]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(增刊) 23-25.

[35] Matsunaka T, Saw amoto T. Efficient use of digested cattle slurry from biogas plant with respect to nitrogen recycling in grassland [J]. International Congress Series, 2006, 12(3): 242-252.

[36]李金页，郑平，梅玲玲.反硝化除磷工艺及其特点[J]. 科技通报,2006, 22(6)：882-886.

[37]路振香，王立克等.不同季节的沼液中细菌分离培养与含量分析[J]. 污染防治技术,2009, 22(4)：19-20.

[38]周孟津，张溶林，蔺金印编著.沼气实用技术[M]. 北京：化学工业出版社,2003, 11。

[39]郑兴灿，李亚新.污水除磷脱氮技术[M]. 北京：中国建筑工业出版社,1998。[40]林绍光.精准施肥技术在土壤改良中的应用[J]. 中国农业综合开发2004, 20(8) 57-61.

[41]刘荣乐，李书田，王秀斌，等.我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况和分析[J]. 农业环境科学学报,2005, 24(2)：37-41.

[42]宋成芳，单胜道等.畜禽养殖废弃物沼液的浓缩及其成分[J]. 农业工程学报,2011, 27(12)：256-259.

[43]王莹，鲁建华，王维和.沼气生态农业技术评价[J]. 可再生能源,2003, 9(2)：39-42．

[44]张国治，吴少斌，王焕玲，等. 大中型沼气工程沼渣沼液利用意愿现状调研及问题分[J] .

中国沼气,2009, 28(1):21-24.

[45] USEPA. Guiding. principles for constructed treatment wetlands Providing for water: Quality and wild life habit[M], Oceans and Watershed, 2000.

[46] Walla C, Schnee berger W. Sub surface flow constructed wetlands for waste water Treatment technology[J]. Survey o f farm biogas plants with combined heat and power production in Australia. 2003, 12(2):4-19.

[47]张学洪.利用城市固体废弃物生产有机复合肥技术的研究[D].哈尔滨工业大

学,20010601.

[48]熊承永.我国沼气近期科研情况和发展趋势[J]. 中国沼气,2008, 16(4)：45-46.

[49]项爱枝，付永胜.高浓度养猪场废水处理工艺[J]. 广东农业科学,2008, 23(7):77-79. [50] HangRT. Engineering PrineiPles of Sludge Composting[J]. Water Pollute Control Fed.

2009, (51) 2189-2206.

[51]张又红.加快农村能源生态建设，促进农村经济持续发展[M].北京：中国农业出版社, 1999。

[52]张国治，姚爱丽，顾蕴璇，等.藻类对沼液中氮、磷去除作用的初步研究[J]. 中国沼气，

1997, 15(4): 11-15.

[53]王金花.沼气发酵生态系统与残留物综合利用技术研究[D]. 中国农业大学水利与土木工程学院,2005, 18(11)：29-32.

[54]翁定河.沿海旱地玉米施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 江西农业学报,2007, 19(5)：66-68.

[55]王静萍，胡启春.脉冲电场灭菌技术研究及其在厌氧消化液后处理方面的应用前景[J].

中国沼气, 2004, 22(4): 14-17.

[56]吴德礼，朱申红.城市生活垃圾的综合处理技术与发展方向[J]. 城市环境与城市生态，2002, 15(4)：25-27.

[57]张无敌，宋洪川，尹芳.沼气发酵残留物综合利用技术[M]. 云南科技出版社, 2003, 4（3）：

35 -37.

[58]雍毅，马利军.城市生活垃圾堆肥技术与市场协同发展[J]. 四川环境, 1999, 18（4）：

22-25.

[59] Hopfner- S ix t K, Am on T, Bod iroza V, et a. l Sta te o f the art o f biogas techno logy in Austria [J]. Land technik, 2006,61 (1): 30- 31.

[60] Nobuko Ha shimoto And Tatsuo Sumino. Wastewater treatment using activated sludge entrapped in polyethylene glycol [J]. Journal of Fermentation and Bioengineering, 2008,28(8):424-426.

[61]刘恩科，赵秉强，胡昌浩.长期施氮磷钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 植物营

养与肥料学报,2007, 13(3):75-79.

[62]潘洁.垃圾肥对土壤和农产品重金属含量的影响[J]. 农业环境保护, 1998, 17 (3)：9-11.

沈瑾，陆旭等.规模化猪场粪污水处理固液分离设备[J]. 中国沼气,1997, 17(4)：18-20.

[63]史雅娟，杨林书.沼气发酵残留物对减少叶菜硝酸盐的积累[J]. 中国生态农业学报，2002, 10(4)：58-61.

[64]陶红歌，李学波，赵延林.沼肥与生态农业[J]. 可再生能源,2003, 13(2): 37-38.

[65] 陶朴良, 张无敌, 宋洪川, 等. 沼气发酵综合利用的现状与发展趋势[J]. 能源工程, 2001, 8(5): 9-11.

[66]王冬梅，郭书贤.利用沼气废渣发酵生产有机肥[J]. 中国资源综合利用,2003, 10（6）

:9-12.

# 7. 致谢

本论文是在导师王立克教授的悉心指导和关怀下完成的。王老师渊博深厚的学识、高屋建瓴的视角，使我受益匪浅；崇高的师德、执着的精神、朴实的作风，是我学习的榜样！王老师在指导我学习和试验之外，还在生活中时刻关心和照顾我，这种润物细无声的情谊让我终身难忘。在此，我向王老师致以最崇高的敬意和最衷心的感谢！

同时还要感谢读研期间安徽科技学院各位授课老师的无私的传授，感谢研究生教育办公室的各位老师的辛苦付出！感谢在动物科学学院学习的六年来，各位领导、老师的亲切关怀和悉心教导，各位老师的丰富学识、敬业精神也会伴随我走向人生的每一段路。

同样还要感谢凤阳族光生态有限公司的领导和职工，在采样时给予的大力支持！感谢2012级全体研究生同学，两年的愉快相处、相知都是人生宝贵的财富。其中尤其感谢岳益佳、程金龙、朱伟等同学在试验操作中给予的帮助。感谢刘幸飞、王筱红、马俊、尉传坤、王克祥、庞倩、袁胜等师弟师妹们在试验中付出的辛勤汗水，同时还有许金根博士、沈芳同学在数据处理上给予的指导。是大家的共同努力才完成了毕业论文的所有工作！

还要感谢安徽省畜牧技术推广总站的各位领导，尤其感谢校外导师郑久坤站长的细心指导让我在畜牧总站的实习格外有收获。在畜牧总站实习的半年时间里，郑老师时刻关心我的成长与进步，使我接触到更多关于畜禽减排这一领域的知识，并且有机会参与到畜牧总站的日常事务中去，从而对安徽省的畜牧业状况有了更加深入的理解。郑老师的人格魅力和做事风格都令我折服。总之，在畜牧总站学习到的方方面面都使我受教和提高。

还要感谢我的家人，多年来家人对我生活、学习做出了巨大的支持和鼓励，是他们用朴实和无私的关怀给予我不懈努力的动力！

在安徽科技学院的六年学习生涯即将画上句号！感谢在这些年里接触到的所有令人上进的老师和朋友，是大家的出现让我拥有一个快乐、进步的美丽年华。

最后，再次向所有关心和帮助过我的老师、朋友、同学和家人致以最诚挚的谢意！

刘文红

2014年6月于凤阳

# 8. 相关科技成果情况

参与研制的“规模化养猪场有机废弃物沼气发电关键技术研究与示范”获省级科技成果证书（证书编号：13-150-05）。