

规模化养猪场粪污循环利用技术集成与模式构建研究

林代炎¹, 叶美锋¹, 吴飞龙¹, 翁伯琦²

(1.福建省农业科学院农业工程技术研究所, 福州 350003; 2.福建省农业科学院, 福州 350003)

摘要:简述全国及福建的生猪养殖发展现状与粪污产生量,并根据循环经济的“3R”理论,构建了以规模化生猪养殖为源头,通过技术集成,拓宽粪污循环利用产业链,发展粪污治理、沼气能源、食用菌、种植业、有机肥料、养鱼等产业,解决了规模化养猪场区域内部各产业产生的“废弃物”再利用问题。福建省福清星源农牧开发有限公司应用该模式建成的粪污循环利用产业链运行结果表明,各产业充分利用上游产业排放的“废弃物”,年节省各种原料投入达 105 万元,并解决了规模化养猪场粪污治理,污水经过各层次利用后作为冲栏回用,最终在系统内部实现了粪污全价再利用,达到污染物“零”排放的目标。

关键词:猪粪便;循环利用模式;技术集成;循环经济

中图分类号:X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)02-0386-06

Recycling Model Construction and Technology Integration of Feces From Large-scale Pig Farm

LIN Dai-yan¹, YE Mei-feng¹, WU Fei-long¹, WENG Bo-qi²

(1. Institute of Agricultural Engineering, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350003, China; 2. Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350003, China)

Abstract: The status of pig breeding and feces output of Fujian Province and China was summarized. According to the circular economy “3R” theory, we constructed the recycling model of feces from large-scale pig farm, through technology integration and broadening the recycling industry chain. And then the feces pollution of the large-scale pig farm was solved by developing the industries of slurry treatment, biogas energy, edible fungus, planting, organic fertilizer and fish farming. This recycling model was applied to Fuqing Xingyuan Agriculture and Farm Development Co., Ltd. of Fujian Province, and the results showed that: the industries could take full advantage of the emissions from the upper-stream industry, and it could save 1.05 million yuan annually by reducing a variety of raw material inputs. Finally, the system achieved the full price of the slurry recycling and the pollutants “zero” emissions.

Keywords: feces; the recycling model; technology integration; the circular economy

随着畜禽集约化养殖技术的提高和农业产业结构调整,规模化生猪养殖得到快速发展。据统计,2006年年末全国规模化生猪存栏数达到 49 440.7 万头,全年生猪出栏数达到 68 050.4 万头,福建省年末生猪存栏为 1 279.12 万头,年出栏数为 2 229.36 万头^[1-2]。与此同时,生猪粪尿的排泄量也迅速增大,国家环境

保护总局发布的畜禽养殖业污染物排放标准 GB18596—2001 表明,2006 年全国年生猪粪尿排放量达 45 119.2 万 t·a⁻¹,污水排放约 433 393.5 万 t·a⁻¹,BOD 排放量达 3 535.9 万 t·a⁻¹,福建省生猪粪尿排放量达到 1 215.1 万 t·a⁻¹,污水排放达 11 672.0 万 t·a⁻¹,BOD 排放量达 95.2 万 t·a⁻¹。这些粪尿若利用得当则是一项值得开发利用的资源,若弃之不用则会严重破坏周边生态环境。项目组依据循环经济的“3R”(减量化,再利用,资源化)原理,进行粪污循环利用方案设计,通过技术集成,构建了存栏万头的规模化养猪场粪污循环利用模式。本文结合工程实例进行关键技术分析总结,以便为推进规模化养猪场发展循环农业提供参考。

收稿日期:2009-09-09

基金项目: 国家科技支撑项目(2007BAD89B13);福建省科技厅公益型科研项目(2009R10033-5);福建省科技厅星火计划项目(2008S0055);福州市科技局(2007-N-85);福建省农业科学院科技支撑项目(Zymb0805)

作者简介: 林代炎(1963—),福建福清人,研究员,主要从事有机废弃物农业资源化利用及有机肥应用研究。E-mail:lindaiyan@126.com

1 规模化养猪场概况与粪污特性

1.1 规模化养猪场概况

福清市星源农牧开发有限公司位于福清市海口镇先强村(福清元华路中段),创建于 1997 年,注册资金 600 万元。该公司现有占地面积约 30 hm²,其中生猪生产区及污水处理区占地面积约 4 hm²,鱼塘面积约 4 hm²,种植区及其他用地约 22 hm²。本研究以该公司作为研究对象构建循环农业模式,解决生猪存栏 1.0 万头的规模化猪场粪污循环再利用问题。

1.2 粪便污水主要污染物含量

目前生猪存栏数在 1.0 万头,日猪粪污水及职工生活污水排放量约 200 m³。悬浮物(SS)为 17 600~19 300 mg·L⁻¹,COD 为 18 300~23 200 mg·L⁻¹,BOD 为 7 000~11 000 mg·L⁻¹,NH₃-N 为 385~418 mg·L⁻¹。

1.3 粪便资源特性

通过对猪粪便处理各过程污染物的成分分析,其养分含量见表 1。可见猪粪便是一种极有价值的资源,它含有大量的氮、磷、钾养分和一些微量元素,同时还含有大量的有机物质。根据能量守恒和物质不灭定律,猪粪便是未完全转化为猪肉产品的不完全循环的中间产物,其本身还蕴藏着可供开发利用的物质与能量。因此可根据污染物的各个不同特征,制定相应的资源化利用方案,将这部分未转化为猪肉产品的物质和能量再利用起来。

2 粪污循环利用模式构建

2.1 粪污循环利用区域产业构建

根据循环经济原理,以规模化养猪场产生的粪污资源特性设置利用产业,以及其再利用产业所产生的废弃物循环再利用,使整个循环系统内实现多层次循环再利用。同时通过技术集成,在区域内部设置合理产业链(图 1),实现废弃物的安全再利用。

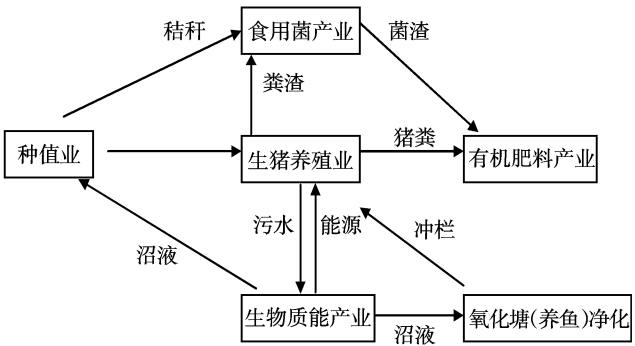


图 1 区域内部循环再利用产业链示意图

Figure 1 The recycling industry chains of intra-regional

2.2 粪污治理与再利用工艺流程

根据区域内部各产业排放的废弃物特性,通过技术集成实现废弃物治理与资源化再利用可控化的工艺流程(图 2)。

3 “废弃物”循环利用技术与应用效果分析

3.1 固液分离效果与粪渣利用

规模化养猪场其粪便污水排放量大,水量集中,且污染物浓度高,根据 GB18596—2001 标准规定,每百头猪污水排放为 2.5~3.5 m³,一般悬浮物浓度为 1%~2%。为了减少污水处理水力停留时间,降低工程投资,大都采用固液分离和沉淀等前处理技术^[3-5]。

3.1.1 鲜猪粪污水中悬浮物颗粒度分布

应用土壤筛对鲜猪粪污水中悬浮物进行颗粒度分布情况测试,在集污池中取搅拌均匀的鲜粪污水 10 L,分别用 8 目、16 目、32 目和 100 目,5 级土壤筛,依次分筛。测试结果(表 2)表明该场鲜猪粪,其颗粒度≥0.5 mm 的占 80.1%,说明应用 40 目的筛网将冲栏的鲜粪污水进行分筛,即可将粪污中粗的主要悬浮物从粪便污水中分离出来,实现污水浓度减量化。

表 1 猪粪便处理各过程污染物成分

Table 1 The components of pollutants in the process of pig feces treatment

种类	水分/%	有机质/%	全 N/%	全 P ₂ O ₅ /%	全 K ₂ O/%	Cu/mg·kg ⁻¹	Zn/mg·kg ⁻¹	As/mg·kg ⁻¹
猪粪	88	66.2	4.29	2.46	0.66	382.72	1 183.52	10.28
猪粪渣	53	67.8	1.24	1.06	0.25	68.63	566.11	0.32
沉渣	91	65.8	3.82	2.31	0.62	447.29	1 670.37	3.10
沼渣	95	60.2	3.28	2.58	0.69	364.72	1 583.72	9.67
沼液	—	1.18	0.107	0.027	0.052	0.43	1.74	0.046
菌渣	8	45.7	1.56	0.44	1.78	—	—	—

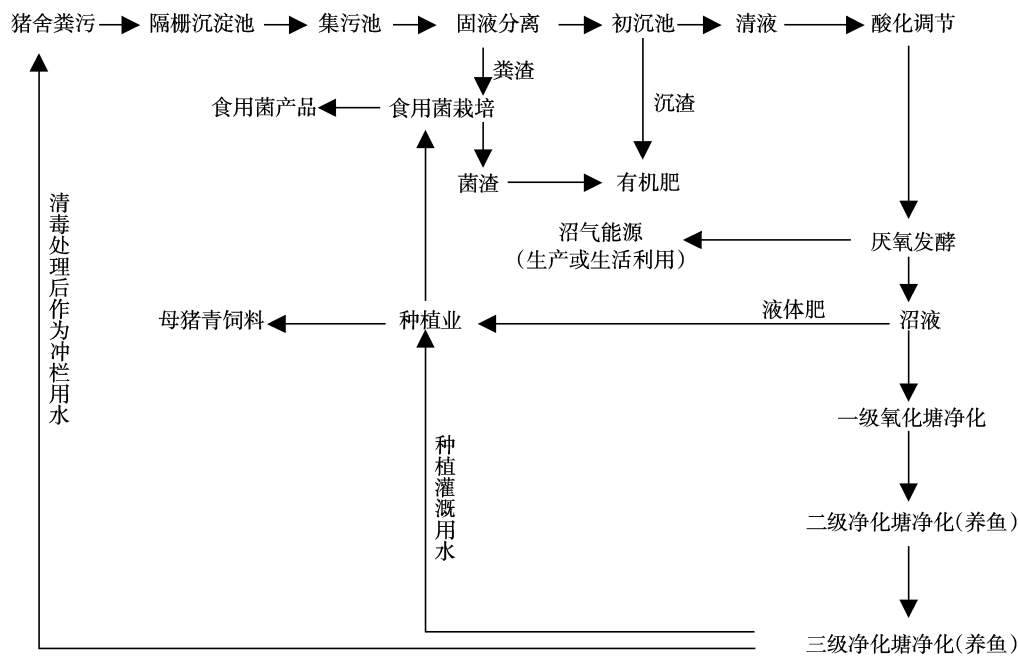


图 2 规模化养猪场废弃物治理与资源化再利用示意图
Figure 2 The treatment and recycle of wastes of large-scale pig breeding farm

表 2 猪粪污水悬浮物颗粒度分布测定结果
Table 2 The distribution of suspended solids of pig slurry

筛网数目	2 mm(8 目)	1 mm(16 目)	0.5 mm(32 目)	0.25 mm(60 目)	0.15 mm(100 目)	总重
筛上物(湿重/g)	187.62	114.9	121.23	67.08	33.9	524.73
筛上物(干重/g)	16.9	13.61	13.12	8.24	2.62	54.49
粒度分布百分比/%	31.0	25.0	24.1	15.1	4.8	—
粒度分布累积百分比/%	31.0	56.0	80.1	95.2	100.0	—

3.1.2 应用固液分离机去除粪污悬浮物效果

应用 40 目筛网的 SFL-B 型龙岩顺添环保固液分离机,对猪场的冲栏粪污进行固液分离去除悬浮物,应用该固液分离机能满足南方存栏万头猪场的水冲清洁模式粪污前处理要求,日处理粪污 200 t,对悬浮物的去除率达 35%~45%,日收集猪粪渣 1.5 t,年收集固液分离的猪粪渣约 547.5 t。分离机收集的猪粪渣特性见表 1,含水率为 53%,便于干化处理,Cu、Zn、As 等重金属含量明显降低,分别为鲜猪粪的 17.9%、47.8%、3.1%,增大了资源化再利用的安全性。

3.1.3 猪粪渣作为食用菌栽培原料再利用

福建是食用菌栽培大省,据统计,2005 年全省食用菌产值达 62.4 亿元^[6],占农业产值 571.0 亿元的 10.9%。食用菌栽培原料资源严重不足,固液分离机收集的猪粪渣,其重金属含量显著降低,为食用菌栽培利用提供安全保障。因此,探讨猪粪渣作为食用菌的栽培原料既可解决福建省食用菌产业原料资源不足问题,又可为猪粪寻找新的再利用途径。杨菁等^[7]利用猪粪渣

45%、锯木屑 55%、石灰 1%、碳酸钙 1%栽培黑木耳,出耳率达 100%,生物效率达 85%,分别比常规配方(锯木屑 78%、麦麸 20%、石灰 1%、碳酸钙 1%)栽培的 95%和 80%各提高 5%,利用猪粪渣栽培的黑木耳其粗蛋白、粗纤维、粗脂肪和氨基酸总量的含量分别为 17.73%、6.95%、1.23%和 12.9%,比常规栽培组分别增加 5.12%、2.03%、0.31%和 2.53%。林代炎等研究认为^[8],利用猪粪渣替代牛粪栽培双孢蘑菇平均单产达 11.86 kg·m⁻²,比常规牛粪培养料栽培双孢蘑菇增产 23.4%,蘑菇产品质量符合 NY5079—2002《无公害食品双孢蘑菇》标准。目前该猪场栽培双孢蘑菇 1.5 万 m²,消纳利用猪粪渣 150 t,替代干牛粪 75 t,节约牛粪成本约 6 万元。菌渣和未利用完的猪粪渣可作为堆肥原料再利用。

3.2 初沉效果与沉渣利用

3.2.1 粪污沉淀处理效果

猪粪污水经固液分离后,其悬浮物的颗粒度较小,比重较大,更具沉降性。猪粪的沉降效果与污水的水温关系密切,夏天水温高,容易发酵而不易沉淀,冬

天沉淀效果较好。该猪场建设沉淀池 120 m³, 日产沉渣 3.5~5.1 t, 全年平均约 4.2 t·d⁻¹, 年收集沉淀猪粪约 1 533 t。固液分离后的粪污经沉淀处理, 其悬浮物的去除率达 30%~35%, 实现了粪便污水污染物总量减量化。

3.2.2 沉渣、菌渣联合堆肥生产有机肥

沉淀收集的猪粪渣, 其资源特性见表 1, 有机质含量为 65.8%, 氮、磷、钾总含量达 6.55%, 是良好的肥料资源, 但它含水率达 91%, 较粘, 臭味重, 干化处理难度大, 而且容易造成干化场周边环境污染。将沉淀猪粪与晒干菌渣按重量比 2:1 的比例联合堆肥化处理, 如果按配比沉淀的猪粪消纳不完, 可结合种植区产生的农业有机废弃物及蘑菇栽培利用不完的猪粪渣, 及市场采购的其他有机肥生产原料, 调节混合料含水率为 55%~65%, C/N 比为 25~35, 有机质含量>45%, 氮、磷、钾总含量>4%, 进行联合堆肥, 确保每天产生的沉淀猪粪渣得到及时有效地资源化再利用, 避免沉淀猪粪渣在场内堆放造成二次污染。同时, 生产的有机肥产品质量能满足《有机肥料》NY525—2002 标准和《粪便无害化卫生标准》GB7959—1987。

有机肥厂占地面积约 1.3 hm², 年有机肥生产能力 3 000 t 以上, 完全能满足及时处理区域内部产生的各种有机固体废弃物。2008 年年产有机肥 2 200 t, 消纳区域内部各种固废 2 500 t 左右, 年节约原料成本约 45 万元。使区域内部利用不完的固体有机废弃物能生产成有机肥商品, 移出区域系统, 确保循环区域内部生态环境安全。

3.3 厌氧发酵效果与沼气、沼液利用

3.3.1 粪污厌氧发酵处理效果及其副产物

厌氧发酵是猪场粪便污水最经济、有效的处理方法, 猪场建设厌氧发酵池 2 600 m³, 经固液分离和沉淀处理后的粪便约 195 t, 水力停留时间约 13 d, 使污水中 COD_{Cr} 含量从 8 350 mg·L⁻¹ 降到 400~450 mg·L⁻¹, 并达到《粪便无害化卫生标准》GB7959—1987, 同时, 日产沼气 450~800 m³, 平均 600 m³, 日产沼液约 180 t, 年产沼气 21.9 万 m³, 沼液 6.57 万 m³, 沼渣约 200 t。

3.3.2 沼气利用

猪粪污水经厌氧发酵产生的沼气, 经脱硫和除水后, 甲烷含量一般为 55%~70%, 含热量 19 702~25 075 kJ, 是很好的清洁能源。这些沼气首先满足全场 70 多名职工生活用气, 日消耗沼气 90~140 m³, 平均日用气量约 120 m³, 年用沼气约 2.5 万 m³, 尚余 17.52 万 m³, 用于发电, 每年可发电 26.28 万度。既避

免了利用不完的沼气直接排放破坏大气环境, 又为猪场年节约电费约 17.0 万元。而且, 发电产生的余热通过管内闭路循环, 夏季用于污水加温, 冬季用于小猪保温和污水升温。

3.3.3 沼液利用

猪粪污水经厌氧发酵后的沼液和沼渣(沼肥), 除碳素损失较大外, 仍保留 90% 原料营养成分, 且氮素结构得到优化, 磷和钾的回收率高达 80%~90%^[9-10]。沼肥中除了含有常量营养元素、有机质外, 还含有多种微量营养元素、氨基酸、激素和维生素等物质, 是速、缓效兼备的有机复合肥。分析表明, 该猪场的沼液氮、磷、钾养分总含量达 0.186% (表 1), 是很好的液体肥料。许多学者^[11-14]研究的结果认为, 施用沼液对农作物具有增产和提高产品品质的作用。

但随着生猪养殖业规模不断扩大, 其沼液产生量随之增加, 超过周边耕地环境承载能力, 在这方面福建尤为突出, 如何科学安全地利用沼液显得更为重要。项目区开展了“不同沼液施用量下象草养分利用效率和土壤养分含量的变化”研究, 初步研究结果表明, 适量施用沼液, 可促进象草分蘖, 增加生物量。象草的氮利用效率在施用沼液 60 kg·m⁻² 的处理时最高, 为 27.5%, 之后随着沼液施用量的增加, 氮利用效率逐渐降低; 而磷的利用效率在施用沼液 40 kg·m⁻² 的处理时最高, 为 14.3%, 之后随着沼液施用量的增加, 磷利用效率变化不大, 维持在 13%。施用沼液的 0~30 cm 土层土壤全氮养分出现累积, 而 30~60 cm 土层土壤的全氮养分出现亏缺, 但施用沼液对不同土层土壤的碱解氮、全磷和速效磷没有影响。因此, 为了区域耕地环境安全, 必须注意科学合理地施用沼液。该猪场在其养殖区周边配套种植区 17.3 hm², 其中火龙果 8 hm², 其他果树 1.3 hm², 轮作耕地 6.6 hm², 杂交狼尾草 1.3 hm²。4 个品种种植区根据其作物生物产量不同, 年设置沼液施用量分别为 14 400、2 400、14 400 和 4 800 t, 合计年消纳沼液 3.6 万 t。沼液的种植利用, 不计其他资源价值, 仅氮、磷、钾纯养分年节约 66 960 kg, 平均按 5 元·kg⁻¹ 计, 则年节约肥料成本达 33.48 万元。

3.3.4 沼液氧化塘净化与养鱼利用

(1) 沼液氧化塘净化

从沼液排放量和种植区的使用量分析可知, 系统内部年剩余沼液 2.97 万 t 暂无去处。从表 1 可知, 这些沼液富含氮、磷、钾和有机质, 若直接排放, 将会造成下游河道水质富营养化, 可造成水体等环境污染。而若直接将剩余沼液排入鱼塘, 则会由于 NH₃-N 含

量过高,影响鱼的成活。因此,污水处理工艺中设计 0.66 hm^2 面积的生物氧化塘,蓄水能力为 1.5 万 m^3 ,根据当地雨季情况,调节沼液贮量在 $0.8\sim 1.5\text{ 万 m}^3$,这样既能保证雨季沼液无法利用时,不会外排,又能保证耕作区需要施肥时,有足够的沼液可以利用。此外,沼液排入氧化塘后,由于营养丰富,又可以培养大量的浮游生物,供鱼塘养鱼利用,有研究认为施牛粪有机氮浓度为 $1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,浮游植物增长倍数为 $10.7\sim 15.9$,浮游动物增长倍数为 $51.8^{[15]}$ 。氧化塘中的浮游生物进行生命活动时,还能净化水质,使平均每日排入约 81 t 的沼液 COD_G 浓度从 $400\sim 450\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降到 $260\sim 280\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

(2) 养鱼利用

沼液经生物氧化塘净化后的污水,浮游生物丰富,是鱼类天然饲料。因此,在后续的 1.3 hm^2 氧化塘中,开展养鱼利用。2008年5月18日,放养鲢鱼、鲤鱼、罗非鱼等小鱼苗分别为 6 000 尾(150 kg)、 3 000 尾(50 kg)、 6 000 尾(100 kg),整个养殖过程不投饲料,到2008年12月18日测产,总产量 6 400 kg 。与常规饲料养鱼相比,节约鱼饲料达 20 t ,节约鱼料成本约 3.6 万元 。在 13 500 m^2 的水面安装2台增氧机,装机容量为 1.5 kW ,以确保气候条件变化时,能提高鱼塘水的容氧量,满足鱼的生活需要。同时,进一步净化了水质,使氧化塘排入鱼塘的水质 COD_G 含量从 $260\sim 280\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降到 $60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右。

3.3.5 鱼塘水消毒后作为冲栏回用

经过前面各环节的处理后,鱼塘出水的 COD_G 含量降到 $60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,低于“农田灌溉水质标准”的 COD_G 限量 $80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,为了确保冲栏安全利用,将鱼塘排放的水,贮存到冲栏水贮水池(约 20 000 m^2),然后通过石灰沙滤池消毒后,作为猪舍冲栏再利用。最终使污水经过处理和多层次利用净化后,实现区域内闭路循环再利用。

4 小结

(1)区域内部通过构建粪污循环利用产业链,各产业正常运行结果,表明对规模化养猪场的粪污,可以通过科学的区域产业布局规划和配套合理废弃物利用产业规模,实现全价再利用,避免粪污排放造成环境污染,解决规模化养猪业可持续发展问题。

(2)随着规模化养猪场粪污的产生,为了充分利用猪场的粪污,配套建设了生物质沼气能源、食用菌、种植业、有机肥料、养鱼等相关废弃物再利用产业,能

通过利用上游产业排放的废弃物,减少区域内部各产业的生产原材料资源投入,节约各种原料成本约 105 万元 ,并解决了各上游产业的污染物消纳问题,实现投入降低,排放最小。

(3)污水处理工艺流程中,设计了生物氧化塘兼贮液池,实现沼液排放与种植区利用时间差及总施用量的可控化;有机肥厂将区域内部产生的固体有机废弃物通过堆肥化处理生产有机肥料商品,可平衡种植区超过承载负荷的有机肥移出区域系统,确保区域内部环境安全。但对耕地如何长期科学安全地施用沼液,还有待进一步研究。

(4)分析了猪饲料添加剂中的主要重金属在粪污处理过程排放的“废弃物”中分布情况,及各种“废弃物”的资源特性,并根据污染特性和资源特性,进行分类再利用,以提高各“废弃物”的利用价值和再利用安全。

(5)发展农业循环经济与工业循环经济一样,最好是通过政府整合,在一定的区域范围内,相关产业科学布局,使区域内部的各个产业形成产业链。否则,单独由一个企业发展农业循环经济,一方面会由于投入能力而影响规模化发展,另一方面由于相关产业较多,受产业化生产技术限制,而影响区域整体经济效益,尤其是后者,更要注意。

参考文献:

- [1] 国家统计局.福建统计年鉴 2007[M].北京:中国统计出版社,2007.
National Bureau of Statistics of China. Fujian statistical yearbook 2007[M]. Beijing: China Statistics Publishers, 2007.
- [2] 国家统计局.中国统计年鉴 2007[M].北京:中国统计出版社,2007.
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook 2007[M]. Beijing: China Statistics Publishers, 2007.
- [3] 林代炎,翁伯琦,钱午巧.FZ-12 固液分离机在规模化猪场污水中的应用效果[J].农业工程学报,2005,21(10):184-186.
LIN Dai-yan, WENG Bo-qi, QIAN Wu-qiao. Application of FZ-12 solid-liquid separator to the treatment of wastewater for large scale pig farm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(10):184-186.
- [4] 李长生,王应宽.集约化猪场粪污处理工艺的研究[J].农业工程学报,2001,17(1):86-90.
LI Chang-sheng, WANG Ying-kuan. Technology of swine manure treatment on intensive scaled swine farms[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(1):86-90.
- [5] 高茹英,林 聪,王平智,等.养猪场粪污水生物处理工艺技术研究[J].农业环境科学学报,2004,23(3):599-603.
GAO Ru-ying, LIN Cong, WANG Ping-zhi, et al. Techniques using biological approach for treatment of swine manure[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(3):599-603.
- [6] 国家统计局.福建统计年鉴 2006[M].北京:中国统计出版社,2006.

- National Bureau of Statistics of China. Fujian statistical yearbook 2006[M]. Beijing: China Statistics Publishers, 2006.
- [7] 杨 菁, 林代炎, 叶美锋, 等. 猪粪堆肥栽培黑木耳及其品质分析[J]. 菌物学报, 2005, 24(增刊): 187-193.
- YANG Jing, LIN Dai-yan, YE Mei-feng, et al. The cultivation of *Auricularia Auricula* with pig manure compost and analysis of nutritious components[J]. *Mycosystema*, 2005, 24(supplement): 187-193.
- [8] 林代炎, 杨 菁, 吴飞龙, 等. 应用猪粪渣栽培双孢蘑菇研究初探[C]. //中国农学会耕作制度分会, 中国农作制度研究进展 2008, 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2008: 525-527.
- LIN Dai-yan, YANG Jing, WU Fei-long, et al. Preliminary study on cultivation of *Agaricus bisporus* using pig manure[C]. //Cropping System Branch of Chinese Association of Agricultural Science Societies, The reaserch progress of Chinese cropping system 2008. Shenyang: Liaoning Scientific and Technical Publishers, 2008: 525-527.
- [9] 黄勤楼, 翁伯琦, 刘明香, 等. 建阳市以沼气为纽带的生态农业建设实践与思考[J]. 福建农业学报, 1999, 14(4): 57-61.
- HUANG Qin-lou, WENG Bo-qi, LIU Ming-xiang, et al. Practice and consideration of the ecological agriculture using biogas as link in Jianyang City[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 1999, 14(4): 57-61.
- [10] 王远远, 刘荣厚. 沼液综合利用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(4): 1089-1091.
- WANG Yuan-yuan, LIU Rong-hou. Progress of comprehensive utilization of biogas slurry[J]. *Journal of Anhui Aricultural Science*, 2007, 35(4): 1089-1091.
- [11] 张 媛, 洪坚平, 任济星, 等. 沼液对油菜产量及品质的影响 [J]. 山西农业科学, 2007, 35(5): 54-57.
- ZHANG Yuan, HONG Jing-ping, REN Ji-xing, et al. Rsearch on bio-gas slurry impact on the output and quality of oilseed rapes[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2007, 35(5): 54-57.
- [12] 周杰良, 王建湘, 李树战, 等. 沼液对有机基质栽培青椒果实产量及品质的影响[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(2): 254-256.
- ZHOU Jie-liang, WANG Jian-xiang, LI Shu-zhan, et al. Effects of anaerobic liquid manures on yield and quality of green pepper in organic media culture[J]. *Research of Agricultural Mordenization*, 2007, 28(2): 254-256.
- [13] 蒙 亮, 张衍林, 郑时选, 等. 沼肥用于辣椒种植对产量和品质的作用研究[J]. 中国沼气, 2007, 25(6): 25-27.
- MENG Liang, ZHANG Yan-lin, ZHENG Shi-xuan, et al. Effect of biogas manure on capsicus yield and quality[J]. *China Biogas*, 2007, 25(6): 25-27.
- [14] 李建勇, 王正银, 李泽碧, 等. 沼液与化肥配施对茎瘤芥产量的效应[J]. 中国沼气, 2007, 25(6): 31-33.
- LI Jian-yong, WANG Zheng-yin, LI Ze-bi, et al. Effect of combined application of biogas slurry and chemical fertilizer on yield and quality of tumorous stem mustard[J]. *China Biogas*, 2007, 25(6): 31-33.
- [15] 雷惠僧. 池塘养鱼学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 63.
- LEI Hui-seng. Pisciculture[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1981: 63.