

主编语: 2008 年 10 月中国系统工程学会举办了第十五届学术年会, 会议的主题是“和谐发展与系统工程”。本届年会征集论文 136 篇, 经过学会优秀论文评选委员会严格认真地评选, 共评选出 7 篇优秀论文, 现由《系统工程理论与实践》集中发表, 它们是本期前 7 篇论文, 以飨读者。

陈光亚
2009 年 2 月 20 日

文章编号: 1000-6788(2009)03-0001-09

基于系统动力学创建养种生物质能产业的理论应用研究

涂国平¹, 贾仁安¹, 王翠霞², 贾晓菁³, 邓群钊¹, 彭玉权⁴

(1. 南昌大学 系统工程研究所, 南昌 330031; 2. 江西财经大学 信息管理学院, 南昌 330013; 3. 中央财经大学 MBA 中心, 北京 100081; 4. 泰华养殖场, 萍乡 337000)

摘要 全面阐述了基地建设中以系统动力学反馈动态复杂性分析方法与农学、环境工程学等科学结合, 运用五大原理, 开发“猪-沼气-能源”循环工程; 创建有沼液分流排灌功能、好氧功能、过滤功能、储存功能的沼液分流三级过滤好氧延迟储存工程技术, 在运用系统动力学延迟函数理论进行“仍然存在严重污染”理论证明基础上, 新建五大养种生物链循环生产工程技术和三项组织管理技术等理论与应用成果, 整个系统工程实施后, 区域获得了全方位环境经济社会效益, 促进了和谐社会建设。

关键词 系统动力学; 延迟函数理论; 生态能源; 循环经济; 和谐社会

中图分类号 S11

文献标志码 A

Theory and application research on construction of planting and livestock breeding biomass energy industry based on system dynamics

TU Guo-ping¹, JIA Ren-an¹, WANG Cui-xia², JIA Xiao-jing³, DENG Qun-zhao¹, PENG Yu-quan⁴

(1. Institute of Systems Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2. School of Information & Management, Jiangxi University of Finance & Economics, Nanchang 330013, China; 3. MBA Educational Center, Central University of Finance & Economics, Beijing 100081, China; 4. Taihua Pig Farms, Pingxiang 337000, China)

Abstract By integrated application of SD feedback dynamic complexity analysis method and agricultural engineering, environment engineering and other disciplines we exploited the “Pig-biogas-energy” circular engineerings in the base and created the “Anaerobic digester effluent third class filter delay storage and

收稿日期: 2008-11-27

资助项目: 国家自然科学基金 (70761004, 70801067); 高等学校博士学科点专项科研基金 (20060403001)

作者简介: 涂国平, 贾仁安, 男, 南昌大学教授, 研究方向: 管理科学与系统动力学, Email: Jiara@ncu.edu.cn.

diffidence from the irrigating water engineering” engineering. After having proved that “there still has serious pollution” with SD delay function theory, we established five new breeding and planting biology chains circular production engineering techniques and three organizing and managing techniques. After the whole systems engineering were put into practice, the region obtain comprehensive benefit in environment, economy and society, and the building of harmonious society was promoted.

Keywords system dynamics; delay function theory; ecological energy; circular economy; harmonious society

1 引言

生猪规模养殖是农民在农业生产领域增收的一条重要途径,通过实施沼气工程解决了养殖粪尿直接排放污染问题,同时,产生了沼液和沼气污染等严重问题.产生四大问题^[1-3]:问题 1,沼液混入灌溉用水,沼液过剩水稻青苗严重减产;问题 2,沼液严重污染环境;问题 3,沼气严重污染大气;问题 4,生猪疫病风险增大.所以必须根据南方山丘地区地形落差大,土质和气候及农户种植生物多样性,南方农产品需求的多样性特点,开发新技术发展农业生物质能产业,创建养种循环经济系统区域,建设和谐社会.

2 运用厌氧发酵原理,开发“猪-沼气-能源”循环工程技术

厌氧发酵是废弃物在厌氧条件下通过微生物的代谢活动而被稳定化,同时伴有甲烷(CH_4)和二氧化碳(CO_2)产生.根据厌氧发酵原理,进一步开发规模养殖产生的大量猪粪尿资源,实现资源循环利用具有重要意义.猪粪尿通过厌氧发酵可产生沼气,沼气是以甲烷(CH_4)为主要成分的一种混合可燃气体.一般沼气中含 CH_4 55%–70%, CO_2 25%–40%,还有少量的氮气(N_2)、氢气(H_2)、氧气(O_2)和硫化氢(H_2S),有时还含有其它碳化合物.泰华养殖场在 2002 年就完成了的三个共 270m^3 沼气池的建设,实现了粪便资源的初步开发.但是没有实现综合利用,产生沼液、沼气二次污染.2003 年初,南昌大学系统工程研究所、南昌大学管理科学与工程博士点在江西省萍乡地区泰华规模养殖区域挂牌建立了“南昌大学生态能源系统工程科研教学基地”,进行农村生猪规模养殖区域社会经济系统管理问题的专题研究.在泰华养殖场养殖区域内采取一系列措施,进行沼液、沼气资源的开发与综合利用,2007 年向江西省农业厅、财政厅申请立项,进行泰华养殖场中型沼气工程建设,获得资助 60 万元,自筹 60 万元进行工程建设.

此工程项目建成后:①沼气池由原 270m^3 扩大至 1200m^3 .②建成 200m^3 沼气储气柜.③建立了 10 个户用沼气供气房,保障供气的稳定.④年出栏 3000 头,可年产沼气 42979m^3 ,日产沼气量 117.8m^3 ,将沼气用户扩大到 1.5km 范围内的近百户.实现了资源循环利用,又解决了沼气严重污染大气问题.

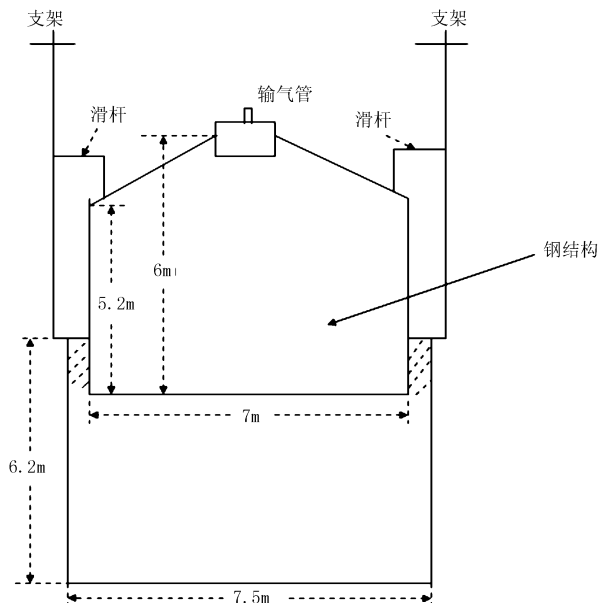


图 1 沼气储气柜剖面图



图 2 1200m^3 沼气池

3 创建实施沼液分流三级过滤好氧延迟储存工程技术

3.1 工程原理及工艺流程图

“猪-沼气-能源”循环工程开发后, 年出栏 3000 头, 日存栏近 1710 头, 每天产生沼液量近 25t, 其中每天产氮近 89.5kg, 钾近 170.4 kg, 磷近 29.7kg^[2]. 此沼液量不开发利用, 将产生严重污染, 首先是沼液混入灌溉用水, 沼液过剩水稻青苗严重减产. 根据土地氮磷承载力 (氮: 150-180kg/ha, 磷 45-75kg/ha), 在 13.33ha 水稻田, 设计了三个沼液分流三级延迟过滤好氧储存池, 沼液分流三级延迟过滤好氧储存是沼液与灌溉用水分流、沼液三级过滤、自然流好氧处理、三级延迟储存的简称.

沼液分流三级延迟过滤好氧储存工程技术的原理是: 美国 Forrester 教授的系统动力学三阶物质延迟函数理论^[4-5]. 系统动力学三阶物质延迟函数模型原理见图 3.

项目由三阶物质延迟函数功能, 利用南方山丘区坡度地形, 消化吸收氧化塘、生物过滤池与人工湿地等工程技术, 设计了沼液分流三级过滤自然流好氧延迟储存工程工艺流程图 (图 4).

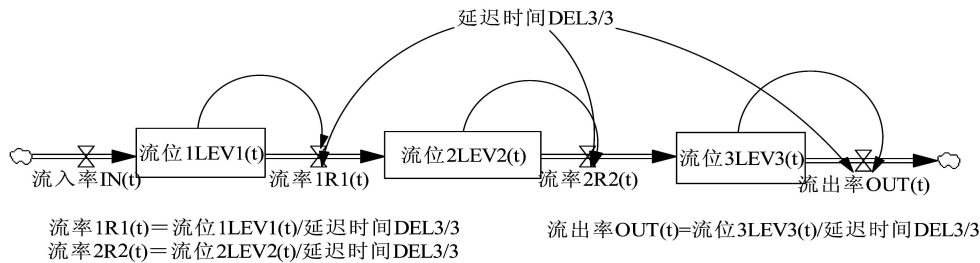


图 3 系统动力学三阶物质延迟函数模型

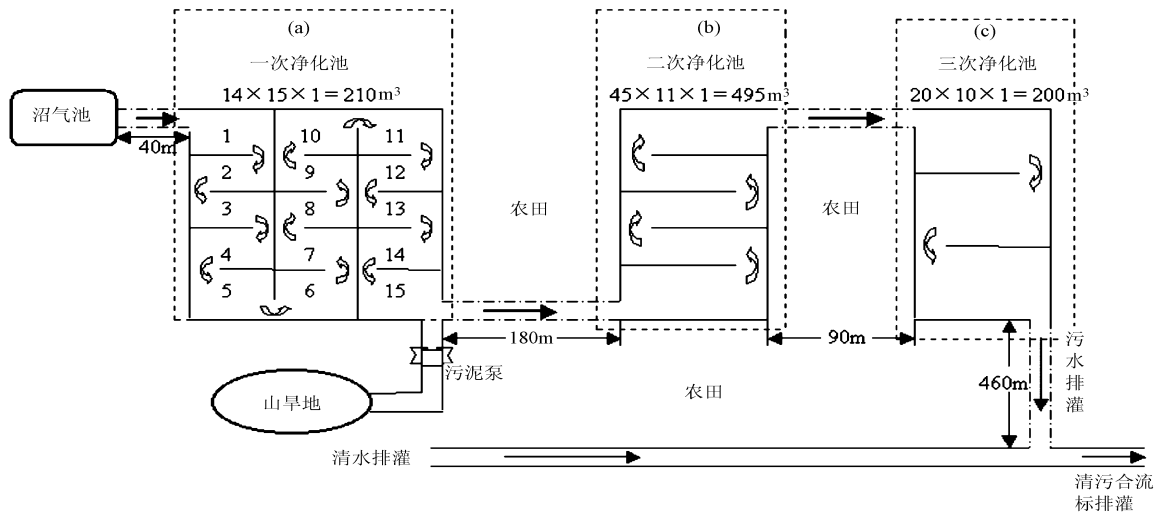


图 4 沼液分流三级延迟过滤自然流好氧处理储存工程工艺流程图

3.2 实施工程结构及功能

如图 4, 根据地形特征, 一级过滤好氧延迟储存池距沼气池 40m, 池容积为 210m³, 沼液由地下内径 0.4m 钢筋水泥管道从高地沼气池流入一级延迟过滤好氧储存池, 过滤池 15 块过滤内隔板; 二级过滤好氧延迟储存池与一级池直线距离为 180m, 由地下内径 0.4m 钢筋水泥管道连接, 池容积 495m³, 过滤池 6 块过滤内隔板; 三级延迟过滤好氧储存池距二级池直线距离为 90m, 由地下内径 0.4m 钢筋水泥管道连接, 池容积为 200m³.

由延迟函数原理, 过滤池内设 25 块过滤隔板, 出液口深度为 0.3m. 一级过滤好氧延迟储存池的沼液以一级池 (简称) 沼液三分之一的流率从地势高的一级池流入地势低的二级池, 沼液中的 N, P, K 同样以三分之一的流率从一级池流入二级池; 二级池的沼液又以二级池沼液三分之一的流率流入地势低的三级池, 同样, 二级池中的 N, P, K 以三分之一的流率流入三级池; 三级池的沼液及其中的 N, P, K 又以三级池沼液三分之

一的流率流出再外排, 如此实现三级沼液过滤好氧延迟储存处理.

沼液分流三级过滤好氧延迟储存有四大作用: 分流排灌功能, 解决沼液混入灌溉用水, 水稻青苗严重减产问题; 自然流好氧功能, 长 873m 距离的三级自然流好氧工程技术, 类似于基于氧化塘的电动氧化功能; 过滤功能, 三级 25 块过滤内隔板过滤工程技术, 类似于基于过滤池的人工填料及弹性填料、软填料微生物滞留过滤; 储存功能, 基于三阶物质延迟函数原理, 创建的三级共 905 m³ 延迟储存池工程技术, 实现对沼液的储存过滤.

4 仍然存在严重污染的理论证明

但是, 假设沼液不使用, 尽管有四大功能, 仍然存在严重污染. 本文通过解微分方程和仿真两种方法^[6-7]求三个延迟净化池沼液量输出变化曲线特性进行证明.

4.1 解微分方程求解

设一级、二级、三级延迟净化池沼液变量分别为 $L_1(t)$ 、 $L_2(t)$ 、 $L_3(t)$, 一级延迟净化池沼液流入率为 $IN(t)$, 一级延迟净化池流出率 (即二级延迟净化池流入率) 为 $R_1(t)$, 二级延迟净化池沼液流出率 (即三级延迟净化池流入率) 为 $R_2(t)$, 三级延迟净化池流出率为 $out(t)$. 得以下三级延迟净化池工程方程组.

$$L_1(t) = L_1(t - \Delta t) + \Delta t \times (IN(t - \Delta t) - R_1(t - \Delta t))$$

$$L_1(0) = IN(0) \times (DEL_3/3)$$

(DEL_3 为三个延迟净化总延迟时间)

$$IN(t) = STEP(a, 1) \text{ (假设从第一时间开始, 每天流入沼液 } a(0))$$

$$R_1(t) = L_1(t)/(DEL_3/3)$$

$$L_2(t) = L_2(t - \Delta t) + \Delta t \times (R_1(t - \Delta t) - R_2(t - \Delta t))$$

$$L_2(0) = L_1(0)$$

$$R_2(t) = L_2(t)/(DEL_3/3)$$

$$L_3(t) = L_3(t - \Delta t) + \Delta t \times (R_2(t - \Delta t) - out(t - \Delta t))$$

$$L_3(0) = L_2(0)$$

$$out(t) = L_3(t)/(DEL_3/3) \quad (1)$$

求此解方程组 (1) 的三级延迟净化池沼液量 $L_1(t)$ 、 $L_2(t)$ 、 $L_3(t)$ 及流出率 $R_1(t)$ 、 $R_2(t)$ 、 $R_3(t)$ 表达式.

因 $t < 1$ 时, $IN(t) = 0$, 则 $t < 1$ 时

$$L_1(t) = L_2(t) = L_3(t) = 0$$

$$R_1(t) = R_2(t) = out(t) = 0$$

当 $t > 1$ 时, 求一级延迟净化池沼液量 $L_1(t)$ 变化曲线

$$\frac{dL_1(t)}{dt} = a - \frac{L_1(t)}{DEL_3/3}$$

$$L_1(0) = 0$$

$$L_1(t) = a \times DEL_3/3(1 - e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}}) \quad (2)$$

$$R_1(t) = a(1 - e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}}) \quad (3)$$

则 $\lim_{t \rightarrow +\infty} L_1(t) = \lim_{t \rightarrow +\infty} a \times DEL_3/3(1 - e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}}) = a \times DEL_3/3$.

揭示: 若沼液得不到有效利用, 只有三级过滤好氧处理储存, 到一定时候以一级延迟净化池沼液满至流入率 a 的 $DEL_3/3$ 倍.

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} R_1(t) = \lim_{t \rightarrow +\infty} a(1 - e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}}) = a$$

揭示: 到足够时候, 第一级延迟净化池将与 $IN(t)$ 等速流出, 流入二级延迟净化池.

$$\frac{dL_2(t)}{dt} = R_1(t) - R_2(t)$$

$$L_2(0) = 0$$

由(1),(3)得
$$\frac{dL_2(t)}{dt} + \frac{L_2(t)}{DEL_3/3} = a(1 - e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}})$$

解上微分方程, 得

$$L_2(t) = a \left(1 - \left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{t}{DEL_3/3} \right) e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}} \right) DEL_3/3 \quad (4)$$

$$R_2(t) = a \left(1 - \left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{t}{DEL_3/3} \right) e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}} \right) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow +\infty} L_2(t) &= \lim_{t \rightarrow +\infty} a \left(1 - \left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{t}{DEL_3/3} \right) e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}} \right) DEL_3/3 \\ &= a \times \left(1 - \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{\left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{t}{DEL_3/3} \right)}{e^{\frac{t-1}{DEL_3/3}}} \right) DEL_3/3 \\ &= a \times \left(1 - \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{\frac{1}{DEL_3/3}}{\frac{1}{DEL_3/3} \cdot e^{\frac{t-1}{DEL_3/3}}} \right) DEL_3/3 \\ &= a \times (1 - 0) DEL_3/3 \\ &= a \times DEL_3/3 \end{aligned}$$

揭示: 到一定时候, 第二级延迟净化池储存沼液为流入 $IN(t)$ 的 $DEL_3/3$ 倍.

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} R_2(t) = \lim_{t \rightarrow +\infty} a \left(1 - \left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{t}{DEL_3/3} \right) e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}} \right) = a$$

揭示: 到一定时候, 第二级延迟净化池以和流入率 $IN(t)$ 同样的速度 a 流入第三级净化池. 由

$$\begin{aligned} \frac{dL_3(t)}{dt} &= R_2(t) - out(t) \\ L_3(0) &= 0 \end{aligned}$$

由(1),(5)得

$$\frac{dL_3(t)}{dt} + \frac{L_3(t)}{DEL_3/3} = a \left(1 - \left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{t}{DEL_3/3} \right) e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}} \right)$$

解上微分方程, 得

$$L_3(t) = a \left(1 - \left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{1}{2(DEL_3/3)^2} + \frac{t}{DEL_3/3} - \frac{t}{(DEL_3/3)^2} + \frac{t^2}{2(DEL_3/3)^2} \right) e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}} \right) DEL_3/3 \quad (6)$$

$$out(t) = a \left(1 - \left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{1}{2(DEL_3/3)^2} + \frac{t}{DEL_3/3} - \frac{t}{(DEL_3/3)^2} + \frac{t^2}{2(DEL_3/3)^2} \right) e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}} \right) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow +\infty} L_3(t) &= \lim_{t \rightarrow +\infty} a \left(1 - \left(1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{1}{2(DEL_3/3)^2} + \frac{t}{DEL_3/3} - \frac{t}{(DEL_3/3)^2} + \frac{t^2}{2(DEL_3/3)^2} \right) e^{-\frac{1-t}{DEL_3/3}} \right) DEL_3/3 \\ &= a \left(1 - \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{1 - \frac{1}{DEL_3/3} + \frac{1}{2(DEL_3/3)^2} + \frac{t}{DEL_3/3} - \frac{t}{(DEL_3/3)^2} + \frac{t^2}{2(DEL_3/3)^2}}{e^{\frac{t-1}{DEL_3/3}}} \right) DEL_3/3 \\ &= a \left(1 - \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{\frac{1}{DEL_3/3} - \frac{1}{(DEL_3/3)^2} + \frac{t}{(DEL_3/3)^2}}{\frac{1}{DEL_3/3} e^{\frac{t-1}{DEL_3/3}}} \right) DEL_3/3 \\ &= a \left(1 - \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{\frac{1}{(DEL_3/3)^2}}{(DEL_3/3)^2 e^{\frac{t-1}{DEL_3/3}}} \right) DEL_3/3 = a(1 - 0) DEL_3/3 = a \times DEL_3/3 \end{aligned}$$

揭示: 到一定时候, 第三级延迟净化池储存的沼液也为流入率 $IN(t)$ 等于 a 的 $DEL_3/3$ 倍.

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} out(t) = a$$

揭示,到一定时候,沼液以与流入延迟净化系统流入率 $IN(t)$ 等速流出,同样产生污染.

4.2 仿真证明

每天输入净化池的沼液 30m^3 , 即: $IN(t) = a = 30\text{m}^3(t \geq 1)$. 一个月 30 天中, 三级净化池各池的沼液储存量曲线, 各净化沼液输出曲线如表 1, 其仿真结果与前微分方程分析完全一致.

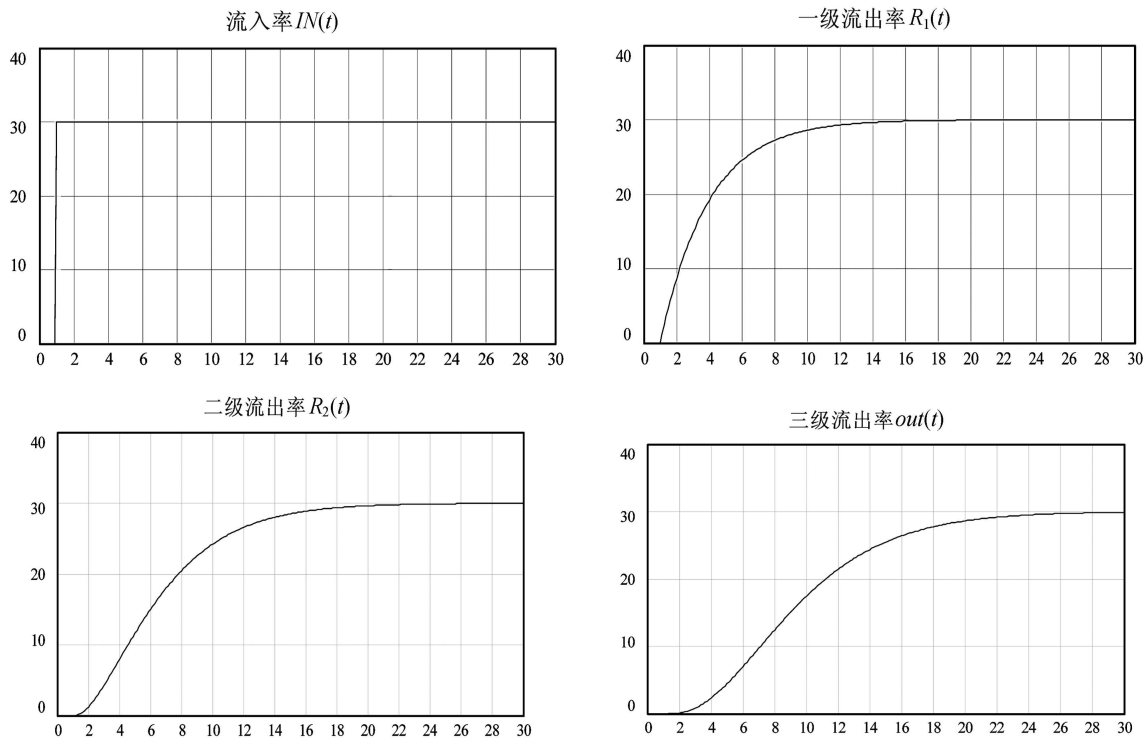


图 5 仿真曲线

表 1 仿真结果数值表

| 天 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|----------------|----|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 流入率 $IN(t)$ | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 一级流出率 $R_1(t)$ | 0 | 8.657 | 14.81 | 19.17 | 23.31 | 28.59 | 29.74 | 29.95 | 29.99 | 29.99 |
| 二级流出率 $R_2(t)$ | 0 | 1.233 | 4.253 | 7.925 | 11.65 | 24.39 | 28.50 | 29.64 | 29.92 | 29.98 |
| 三级流出率 $out(t)$ | 0 | 0.1037 | 0.8087 | 2.287 | 4.417 | 17.44 | 25.50 | 28.63 | 29.62 | 29.90 |

4.3 结论

由微分方程解和仿真曲线及数值表结果, 如果不应用沼液, 三个过滤好氧延迟储存池全按增函数输出沼液, 一级过滤好氧延迟储存池按指数函数输出沼液, 二级过滤好氧延迟储存池按大斜率 S 函数输出沼液, 三级过滤好氧延迟储存池按小斜率 S 函数输出沼液, 最后, 过滤好氧延迟储存池沼液近似与流入净化延迟系统流入率 $IN(t)$ 等速流出, 虽然隔板过滤、自然流好氧工程使污染量有减少, 但仍将存在严重污染.

5 新建五大养种生物链循环生产工程技术

为了解除仍然存在的严重污染问题, 基于人工湿地的种植吸收原理, 创建了区域内公司和农户共同运用的五项生物链综合循环的沼液生态达标处理技术.

5.1 开发“猪-沼液-水稻”养种生物链循环工程技术

基于沼液与灌溉用水分流三级延迟过滤自然流好氧处理储存工程, 开发了“猪-沼液-水稻”养种生物链工程技术. 沼液与灌溉用水分流三级延迟过滤自然流好氧处理储存利用工程中沼液管道长达 873m 距离, 三级共 905m^3 延迟储存池, 沼液与灌溉用水分流. 沼液可供沿途农田施肥, 区域内农户可选时选量利用沼液施

肥, 选时选量进行排灌水农田灌溉。区域内农户选时选量利用沼液施肥种植水稻, 沼肥过量水稻青苗减产问题, 年年水稻增产见表 2。

表 2 泰华生猪养殖区域内水稻产出情况

| 年份 | 种植面积 (ha) | 单产 (kg/ha) | 总产 (t) | 青苗影响 |
|------|-----------|------------|--------|----------|
| 2002 | 13.33 | 6675 | 89 | 少量青苗 |
| 2003 | 12.2 | 5587.5 | 69.285 | 部分青苗 |
| 2004 | 11.33 | 4050 | 45.9 | 青苗影响严重 |
| 2005 | 12.67 | 4200 | 53.2 | 青苗影响严重 |
| 2006 | 13.33 | 8025 | 107 | 无青苗影响、增产 |
| 2007 | 13.33 | 7987.5 | 106.5 | 无青苗影响、增产 |
| 2008 | 13.33 | 8137.5 | 108.5 | 无青苗影响、增产 |

5.2 开发了“猪-沼液-冬闲田和旱地蔬菜”养种生物链循环工程技术

泰华养殖场地区水稻单季种植农田冬闲近 7 个月, 冬闲造成液沼严重二次污染, 与农户纠纷冲突不断, 为消除这一制约因素, 基于已实现沼液三级延迟储存, 开发了“猪-沼液-冬闲田蔬菜”养种生物链工程技术, “猪-液沼-旱地蔬菜”养种生物链工程技术, 生产无公害绿色蔬菜产品。与多目标优化理论结合, 2005 年以土豆种植为主, 2006 年以榨菜种植为主, 2007 年以种植油菜为主, 实行冬闲田与山旱地沼液蔬菜种植生物链循环工程技术, 2007 年 4 月 25 日项目组从冬闲田沼液蔬菜种植基地采取蔬菜样本, 送江西省农产品质量安全检测中心进行检验, 其结果报告见表 3。

表 3 江西省农产品质量安全检测中心检验结果报告书

| 检验项目 | 单位 | 检验值 | 单项结论 | 检验方法 |
|------|-------|-----|------|--------------|
| 马拉硫磷 | mg/kg | 未检出 | 合格 | NY/T761-2004 |
| 敌敌畏 | mg/kg | 未检出 | 合格 | NY/T761-2004 |
| 乐果 | mg/kg | 未检出 | 合格 | NY/T761-2004 |
| 杀螟硫磷 | mg/kg | 未检出 | 合格 | NY/T761-2004 |
| 啶硫磷 | mg/kg | 未检出 | 合格 | NY/T761-2004 |
| 氯氰菊酯 | mg/kg | 未检出 | 合格 | NY/T761-2004 |
| 溴氰菊酯 | mg/kg | 未检出 | 合格 | NY/T761-2004 |
| 氰戊菊酯 | mg/kg | 未检出 | 合格 | NY/T761-2004 |

注: 检出限 (mg/kg): 马拉硫磷 0.0170、敌敌畏 0.0250、乐果 0.0250、杀螟硫磷 0.0250、啶硫磷 0.0330、氯氰菊酯 0.0130、溴氰菊酯 0.0600、氰戊菊酯 0.0200, 所检测项目检测结果比蔬菜类绿色食品标准值低, 完全达标。

表中检测结果完全合格, 揭示项目基地冬闲田沼液生产的蔬菜食品为完全无公害绿色食品, 是可喜的效益, 具有很强的市场竞争力。

5.3 开发了“猪-沼液-旱地红薯生物质饲料种植、鱼饲料种植、果种植”三项养种生物链循环工程技术

基于已实现沼液三级延迟过滤好氧储存, 开发了“猪-沼液-旱地红薯-生物质饲料”养种生物链工程技术。区域内施沼液红薯种植 2 ha, 产量 31500kg/ha, 生产高品质的生物质饲料, 实现经济循环; 同时, 山旱地红薯种植用沼液 375 t/ha.y, 共计 750 t/y, 非常有利于实现规模养殖、环境优美的目标。

基于延迟储存功能, 开发了“猪-沼液-鱼饲料种植”养种生物链工程技术。农户陈同云等, 每年用沼液种植鱼饲料 0.4ha, 供 1.03ha 水塘, 利润收入 31500 元/ha, 共计 32340 元。其更重大的意义在于: 用沼液种植的鱼饲料养鱼, 可生产高品质的无公害绿色鱼产品, 同时, 用沼液种植鱼饲料, 用沼液 375t/ha.y, 共计 150t/y, 又非常有利实现规模养殖、环境优美的目标。

基于延迟储存功能, 区域内农户可选时选量利用沼液施肥种植果树, 实现规模养殖环境优美目标。农户陈春耕和彭秋开用沼液种果树 0.53 ha, 单位产量 9375kg/ha, 利润收入 31500 元/ha, 共计 16800 元。用沼液

施肥种植果树, 用沼液 450 t/ha.y, 每年共计 240t/y, 减少了沼液排放污染, 非常有利实现规模养殖、环境优美的目标.

6 实施三项组织管理技术确保循环经济开发区持续发展, 建设和谐社会

6.1 实施三项组织管理技术

运用人力资源开发原理, 实施了充分推动各子系统目标实现的人力资源核心建设工程.

运用疫病防治原理, 开发了“猪-疫病防治-收入和治理”组织管理技术.

运用统筹发展原理, 成功实施“公司 + 农户”组织管理技术, 提供有效组织运作方式^[8]. “公司 + 农户”是一种组织经营模式, 是公司农户通过经济经营方式实行联合, 共同经营, 发挥各自优势, 克服单个难以解决的难点, 实现共同发展.

6.2 获全方位环境经济社会效益促进和谐社会建设

针对生猪规模养殖产生的影响社会和谐的水稻青苗严重减产、沼液严重污染环境、沼气严重污染大气、生猪疫病风险增大四大问题, 建设养种循环经济系统工程开发区和谐社会, 获得了区域全方位的公司和农户共同享有的环境、成本、应用推广、经济、社会效益.

1) 环境效益: 沼液污染治理出水完全达标, 实现区域内污水零排放

表 4 泰华沼气生态能源系统工程沼液污染治理效果

| 项目 | 粪尿直接排放 | 沼气池出水 | 净化池 1 出水 | 净化池 2 出水 | 净化池 3 出水 | 标准 1 | 标准 2 |
|--------------------|--------|-------|----------|----------|----------|------|------|
| COD _{cr} | 21000 | 334 | 128 | 52 | 34 | 400 | 150 |
| NH ₃ -N | 134 | 12.7 | 11.75 | 6.52 | 1.25 | 80 | 25 |
| P | 326 | 19.2 | 16.1 | 6.77 | 1.00 | 8.0 | 1.0 |

注: 1. 水质由南昌大学环境工程试验室樊艳春、曾常华、陈亚试验员 2006.6.5-2006.6.12 测定.

2. 标准 1 为《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB18596-2001) 的污染物最高允许排放浓度.

3. 标准 2 为《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 的二级标准规定的污染物最高允许排放浓度.

表中检测结果表明: 猪粪尿直接排放污染严重; 沼气工程对粪污一次治理效果显著; 沼液的污染治理工程净化池 3 出水使出水完全达标.

2) 成本效益: 运行费用少

沼液自然流生态处理工程日常运行费用、电耗少, 几乎为零.

3) 工程技术应用推广经济社会效益

工程技术在萍乡市广泛推广. 2007 年, 工程带动排上镇养猪区域水稻利润 263.145 万元; 蔬菜利润 193.731 万元; 湘东区养猪户利润 46864 万元; 上栗县东源乡、芦溪县宣风镇等地利用沼液种植蔬菜 161.33ha, 利润 169.4 万元. 工程技术在上饶市推广. 上饶县董团乡盛水种养开发有限公司, 2006 年 8 月实施《丘陵地区规模养种生态能源工程综合研究》成果, 通过沼液与灌溉用水分流三级净化工程技术, 带动 2000 余户农户增收 347 万元.

4) 工程技术产生全方位经济社会效益, 促进和谐社会建设

规模养殖、农民增收; 区域内农户选时选量利用沼液施肥种植水稻, 沼肥过量水稻青苗减产问题解决, 年年水稻增产; 区域内利用沼液施肥种植冬闲田蔬菜, 生产无公害绿色食品; 利用沼液施肥种植红薯生物饲料, 实现经济循环; 区域内农户每年用沼液种植鱼饲料, 生产高品质的无公害绿色的可口的鱼产品; 区域内农户可选时选量利用沼液施肥种植果树, 实现规模养殖环境优美目标; 区域内农户使用沼气燃料. 2003-2007 年工程推广累计实现利润 60093.967 万元; 比 2003 年累计新增 45430.8988 万元.

7 结语

生猪规模养殖沼气工程的实施, 在增加养殖收益的同时, 带来了沼液和沼气污染等严重问题. 在运用系

统动力学延迟函数理论进行“仍然存在严重污染”的理论证明基础上, 将系统动力学与农学、环境工程学等科学结合进行研究, 运用五大原理, 开发“猪-沼气-能源”循环工程; 创建有沼液分流排灌功能、好氧功能、过滤功能、储存功能的“沼液分流三级过滤好氧延迟储存”工程技术, 并结合区域特点, 新建五大养种生物链循环生产工程技术和三项组织管理技术, 进而构成基于“经济、能源、环境”协调发展的系统工程, 理论研究和成果实践应用表明, 该系统工程的实施, 能够全方位提高区域社会、经济、环境效益, 促进和谐社会建设。

参考文献

- [1] 贾仁安, 王翠霞, 涂国平, 等. 规模养种生态能源工程反馈动态复杂性分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
Jia R A, Wang C X, Tu G P, et al. Feedback Dynamic Complexity Analysis of Intensive Livestock Breeding and Planting Ecological Energy Engineering[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [2] 王翠霞, 贾仁安, 邓群钊. 中部农村规模养殖生态系统管理策略的系统动力学仿真分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(12): 158-169.
Wang C X, Jia R A, Deng Q Z. A system dynamics simulation analysis on the management policy of rural scale livestock breeding ecosystem in centre China[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2007, 27(12): 158-169.
- [3] 李远. 我国规模化畜禽养殖业存在的环境问题与防治对策 [J]. 上海环境科学, 2002, 21(10): 597-599.
Li Y. Existing problems and prevention and control countermeasures of intensive livestock cultivation in China[J]. Shanghai Environmental Sciences, 2002, 21(10): 597-599.
- [4] Forrester J W. The next fifty years[J]. System Dynamics Reviews, 2007(23): 359-370.
- [5] Senge P. The Fifth Discipline — The Art and Practice of the Learning Organization[M]. London: Century Business, 1993.
- [6] 王其藩. 高级系统动力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
Wang Q F. Advanced System Dynamics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995.
- [7] 贾仁安, 丁荣华. 系统动力学 —— 反馈动态性复杂分析 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
Jia R A, Ding R H. System Dynamics-Analysis of Feedback Dynamical Complexity[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [8] 贾仁安, 涂国平, 邓群钊, 等. “公司 + 农户” 规模经营系统的反馈基模生成集分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(12): 107-117.
Jia R A, Tu G P, Deng Q Z, et al. Analysis of the “company & farmer” management system by the feedback archetype generating set[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2005, 25(12): 107-117.