

黄土高原地区农村沼气生态校园模式研究

王兰英¹, 邱 凌², 贾洪涛³

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100;
3. 保定浪拜迪电气股份有限公司, 河北 保定 071051)

摘 要: 针对黄土高原地区自然生态及农村校园环境现状, 对“猪、厕—沼—菜”农村沼气生态校园模式系统结构与功能进行了研究和设计, 得到卫生厕所亚系统、高效沼气亚系统、生态养殖亚系统及生态种植亚系统(太阳能日光温室)的设计方法和关键技术, 并从技术经济方面分析评价了以沼气为纽带的“猪、厕—沼—菜”农村沼气生态校园模式的可行性。该模式的关键技术将微生物(沼气)、动物(猪)、植物(蔬菜)、厕所废弃物(粪污)紧密地结合起来, 变废为宝, 建立资源节约型、环境高效型生态校园物质能量良性循环体系, 具有“四节三增二净化”的综合效应。

关键词: 沼气; 校园; 模式; 效益

中图分类号: S210.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0260-05

20 世纪 90 年代以来, 随着沼气技术体系日臻完善, 涌现出了多种多样的以沼气为纽带的生态农业模式, 如北方“四位一体”模式、南方“猪—沼—果”模式、以及农业部沼气产品质检中心西北工作站研发的西北“五配套”模式等在我国农村地区得到广泛应用, 取得了显著的经济、社会和生态效益。农村沼气生态校园模式依据生态学原理, 以太阳能为动力, 沼气为纽带, 将养殖业、种植业和沼气池、学校公厕、畜禽圈等有机地组合在一起, 通过模式各单元之间的合理布置和匹配, 使得物质和能量实现循环利用, 从而达到高产、高效、优质和低耗的目的, 实现生态化和可持续化发展^[1~3]。结合发展循环经济的思路, 构造高效沼气工程与循环经济理念组装配套推行的农村沼气生态校园模式, 应用现代生物技术转化利用学校的生物资源, 以期变废为宝。关于将沼气应用在农村学校的研究鲜有报道, 因此本文对黄土高原典型的“猪、厕—沼—菜”农村沼气生态校园模式的结构和效益进行分析, 为我国黄土高原推广应用沼气生态校园模式提供依据, 同时也为其他地区的农村沼气生态校园模式发展提供借鉴。

1 模式实施背景

黄土高原属暖温带半湿润、半干旱气候, 是典型的农牧交错区域, 主要特征是冬季寒冷干燥, 夏季温暖湿润, 雨量稀少, 日光充足, 日照时数多, 光热条件优越。黄土高原的年均气温从西北向东南变化幅度

在 8℃~14℃ 之间, 全区日均气温 10℃ 以上活动积温为 2 000℃~3 000℃, 无霜期 120~200 d, 气温日较差平均为 10℃~16℃。降水年际变化大, 季节分配不均, 东南多于西北。年降水量 200~700 mm, 其中 65% 以上集中于 7、8、9 三月。降水强度大, 多暴雨和冰雹, 最大降雨强度可达 2.4 mm/min^[4]。

因自然与人为的原因, 该地区遭受了巨大的生态环境创伤, 农村能源严重紧缺; 植被破坏严重, 水土流失日益加重, 使该区生态和经济双重失调^[5], 而该区农村中、小学校更是面临着校内公厕粪污资源大肆浪费和经济捉襟见肘的双重难题。近年来, 随着农村学校寄宿制的推行和寄宿学生的增多, 学校生活污水及粪便排放量大幅增加, 学校已成为农村和集镇环境恶化的最大污染源。通过对该区农村中、小学饮水与厕所卫生设施现状进行的调查表明: 大多数学校缺少必要的卫生设施, 学生宿舍、食堂等生活场所潜在的卫生问题较为突出, 学生饮食安全得不到有效保证, 增加了流行性疾病的防控难度。农村学校以缺乏水处理卫生设施的自备水源供水为主要供水类型, 而厕所粪便则成为学校饮水污染物的重要来源, 因此加强对农村学校饮水和厕所卫生设施建设, 改进厕所粪污处理技术是顶防和控制肠道传染病发生和流行的重要措施。在被调查学生中 80% 营养不良, 45% 贫血, 30% 患有疥螨、痒螨等皮肤疾病, 由苍蝇、蚊子等传播的感冒、乙脑、出血热等疾病经常发生, 严重制约了该区社会主义新农村建

收稿日期: 2008-07-15

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAK31B01); 国家发改委科技专项计划(2008-2)

作者简介: 王兰英(1978—), 女, 河北衡水人, 在读博士, 主要从事生物能源与环境工程的研究。E-mail: lyw24@163.com。

通讯作者: 邱 凌(1957—), 男, 陕西西乡人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事生物能源与生态农业研究。E-mail: q2871@126.com。

设的进度。而农村中、小学又因地理位置的特殊性,拥有一定数量的空闲地、水域、粪便等资源,但没有得到充分的开发^[6]。构建和发展以高效沼气为纽带的农村沼气生态校园模式,既解决了农村中、小学校的粪污处理和环境卫生问题,又实现了学校的增收节支,是改善黄土高原地区农村学校卫生状况和缓解经济压力的有效途径。

陕西关中地区部分中、小学率先建设了以沼气为纽带的农村沼气生态校园。利用生物厌氧发酵技术对学校公厕粪污进行无害化处理,不但可以解决环境问题,而且可以解决学校食堂生活用能,还可为校园菜地提供优质有机肥,为校园的资源循环利用和环境卫生改善起到示范带动作用,使学校成为真正的花园式绿色生态校园,沼气解决师生的生活需求,在节省能源,提高师生生活质量方面起到重要的保障作用。建设环保型、节约型的校园环境,达到为新农村建设和农村教育改革发展,为学生全面发展的目标。

2 模式系统结构与功能设计

从我国黄土高原地区自然、气候和资源实际出发,依据生态学、经济学、系统工程学原理,从有利于生态系统物质和能量的转换与平衡出发,充分利用西北充裕的太阳能资源和学校的闲置土地,发挥系统内部动、植物与光、热、气、水、土等环境因素的作用,建立的种群之间互惠共生,能量流、物质流、营养流良性循环的能源、生态、经济系统工程模式。它以学校空地为载体,以太阳能为动力,以新型高效沼气池为纽带,形成质能良性循环的农村沼气生态校园模式。模式包括 4 个亚系统,分别为生态种植亚系统、生态养殖亚系统、卫生厕所亚系统和沼气发酵亚系统。在校园内实现产气积肥同步,种植养殖并举,废弃物资源化利用,是一个生物种群较多,能流、物流良性循环的能源生态系统工程,系统内部能量、物质循环示意图见图 1。

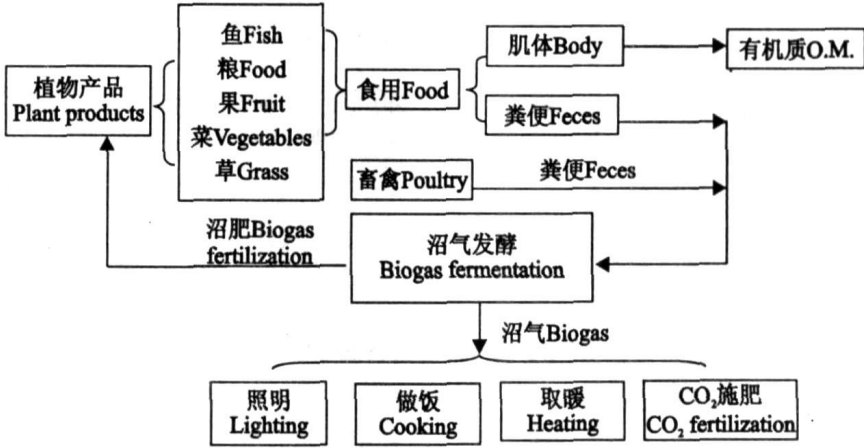


图 1 农村沼气生态校园能量、物质循环利用示意图

Fig. 1 Circular utilization of energy and substance in rural eco-campus

2.1 卫生厕所亚系统设计

为了科学合理的利用空间,并且便于废弃物的收集和处理,厕所面积和便槽数量根据学校规模和人数的不同分别进行规划^[7]。参照我国中、小学校厕所设计规范得出厕所面积计算公式(1),厕所蹲位数计算公式(2)。

$$S = \frac{Q}{R}$$
 (1)

$$Q_{蹲} = \frac{Q'}{R'}$$
 (2)

式中: S 为学校的厕所面积(m²); Q 为学校的总人数(人); R 为学校的学生系数(若 S 为中学厕所面积, R = 10; S 为小学厕所面积, R = 9); Q_蹲 为中小学厕所的蹲位数(个); Q' 为中小学的男生数、女生

数(人); R' 为男女生的厕所密度系数(若 Q_蹲 为男厕, R' 取 30; 否则, Q_蹲 为女厕, R' 取 10)。

厕所方位采用坐北向南的方式,便槽的分布方式采用双排或四排式视厕所的面积和沼气池的位置而综合确定。该区冬季气温 0℃ 以下,沼气微生物在 8℃ 以下活动迟缓,沼气原料产气甚微^[8],为了提高沼气产气率,必须提高厕所粪污原料温度,因此对厕所采取增温、保温措施。厕所屋顶采用 7.5 cm 厚保温彩钢板,便于白天吸收的太阳能储存在室内,使得室内的温度明显高于室外。

2.2 高效沼气亚系统设计

2.2.1 沼气发酵子系统 采用旋动式高效沼气发酵装置及其工艺,根据沼气用途确定池容规模,进而

决定养殖规模,使之满足厌氧发酵工艺所需的发酵原料需要。该模式的沼气系统属于复合型沼气系统,而沼气发酵子系统的规模与沼气用途、原料数量、发酵温度和产气率等因素有关,在规划设计沼气的容积时,根据原料的多元性和复杂性,从多个角度进行设计。鉴于农村中、小学校的用气需求较大、原料较多,故按照原料量设计沼气发酵系统的容积,得出式 3。

$$V = \frac{V_l \times HRT}{B}$$
$$= \frac{(G_1 T_{S1} + G_2 T_{S2}) X + (H_1 T_{S3} + H_2 T_{S4}) Y + (J_1 T_{S5} + J_2 T_{S6}) Z}{S_0 \times D \times B}$$
(3)

式中, V 为沼气发酵装置总容积(m^3); V_l 为沼气池每天进料量(m^3/d); B 为发酵装置装料有效容积,取 90(%); HRT 为水力滞留期,生态校园沼气工程, HRT 取 30(d); X, Y, Z 分别为学校计划养猪的数量、学校教职工数量、学校学生数量; G_1, G_2 分别为成年猪每天的排粪量和排尿量($kg/头 \cdot d$); $T_{S1},$

T_{S2} 分别为成年猪粪尿的总固体含量(%); H_1, H_2 分别为成年人每天的排粪量和排尿量($kg/人$); T_{S3}, T_{S4} 分别为成年人粪尿总固体含量(%); J_1, J_2 分别为未成年人每天的排粪量和排尿量($kg/人$); T_{S5}, T_{S6} 分别为未成年人粪尿的总固体含量(%); S_0 为进料固体百分比浓度(%); D 为进料比重(kg/m^3),一般为 $1\ 000\ kg/m^3$ 。

2.2.2 沼液冲厕子系统 沼液冲厕子系统是利用沼气发酵后,经过沉淀、过滤、除臭、除色处理后的上清液作为水源对厕所进行冲洗的系统,沼液冲厕实现了清洗便槽和杀毒灭菌^[9]。沼液冲厕系统由污水泵和冲厕控制装置组成,每天冲厕 2~6 次,保持便槽干净,以不囤积粪便为准。冲厕泵采用微电脑时控开关控制,根据学校师生入厕时间和人数,设置微电脑控时器开关的开闭时间和次数,定时自动冲厕,实现无人值守的功能。该工艺利用厌氧发酵沼液作为水源对厕所进行定时冲洗,粪物在冲刷力作用下实现自动进料,既改善了厕所卫生环境,又节省了大量水源,达到变废为宝、循环利用、持续发展的目标。其工艺流程如图 2 所示。

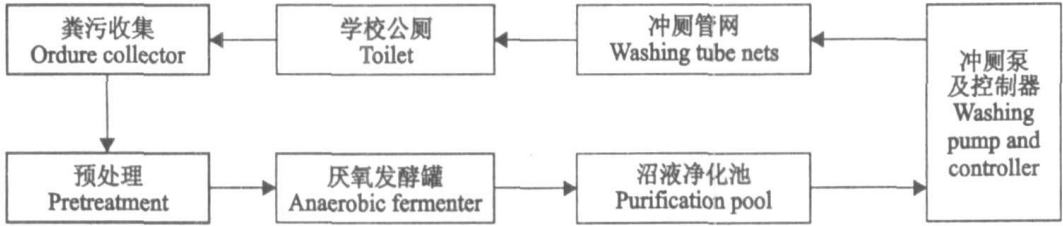


图 2 沼液冲厕工艺流程图

Fig.2 Flowchart of flushing toilet technics with fluid

冲厕子系统由沼液净化池、冲厕泵、冲厕管网及控制器四部分组成。参数的确定直接影响着投入的成本和冲厕的效果,冲厕泵的确定至关重要。冲厕泵把沼液从沼液净化池抽入冲厕管,然后打入便槽中,人粪尿在沼液冲刷力的作用下进入沼气池。冲厕要求管路末端流量要符合冲净要求,且冲厕时间要短,避免热量过多损失,因此尽量选用低扬程、大流量潜污泵。冲厕管路采用高品质、厚壁、耐压 1.6 MPa 的 UPVC 管,其管径与通过管道的流量成正比。

2.3 生态养殖亚系统设计

2.3.1 规模设计 太阳能暖圈子系统是实现以畜促沼,以沼促菜,菜畜结合的前提。采用太阳能暖圈养猪,解决了猪和沼气池的越冬问题,提高了猪的生长率和沼气池的产气率。

由于厕所粪便属于 T_s 低、富氮原料,不能充分满足沼气微生物的生长需求,选择碳氮比较高的猪

粪作为学校沼气工程发酵的补充原料,是提高产气率和产气量的有效途径。农村沼气生态校园的最佳养殖规模,主要由沼气发酵子系统所需的发酵原料数量决定,结合不同的养殖种类和畜禽大小,而计算出养殖规模,再根据养殖规模计算圈舍规模。鉴于大都养殖育肥猪,通过式(4)、式(5)计算^[10]:

$$n = \frac{V \cdot R \cdot V_0}{G \cdot T_s \cdot H_{rt}}$$
(4)

$$F = K \cdot n + C$$
(5)

式中: n 为养殖头数; V 为沼气池净空容积(m^3); G 为每头猪每天的产粪量(kg); T_s 为原料中干物质含量(%); H_{rt} 为原料滞留时间(d); R 为发酵料液浓度(%); V_0 为有效装料容积(%),通常为 90; F 为猪舍面积(m^2); K 为生猪重量调节系数,一般取 0.8~1.2(小猪取下限,大猪取上限); C 为舍温、通风调节系数。

2.3.2 太阳能畜禽圈结构设计 太阳能猪舍北墙

内侧设置 0.8~1.0 m 的走廊,北走廊与猪舍之间用 1 m 高的铁栅栏或砖墙隔开,便于人的走动且不至于惊动猪的行为。北墙为 0.37 m 实心砖墙或夹心保温墙,墙高 1.8 m,在其中部 1.2 m 高处设置 0.3 m×0.6 m 的通风窗,东、西、南三面为 0.24 m 砖墙,南墙高 1 m,东、西墙上部形状和骨架形状一致^[11]。

猪舍舍顶采用 75 mm 厚夹心保温彩钢板,后坡仰角 $\beta=10^{\circ}\sim12^{\circ}$,后坡投影宽度 2.4~2.6 m。猪舍顶南坡面采用厚度 10 mm 的阳光板,其最小采光屋面角 $\alpha_{\min}$ 用式(6)计算:

$$\alpha_{\min} \geq \varphi - 10^{\circ}34'$$

(6)

式中: φ 为当地地理纬度。

表 1 西大寨中学“猪、厕—沼—菜”农村沼气生态校园投入产出效益分析
Table 1 Benefit-cost analysis of the eco-campus in Xidazhai middle school (万元)

项目 Item	发生时间 Time				
	建设期 Building period	1~5 a	6~10 a	11~15 a	16~20 a
初始投资 Initial investment	39				
运行成本 Operating costs		4.095	4.395	4.095	4.395
年均运行成本 Annual operating costs		0.819	0.879	0.819	0.879
净收益 Net income		25.61	25.61	25.61	25.61
年均利润 Annual benefit		5.122	5.122	5.122	5.122
投资利润率 Benefit ratio (%)		13.13	13.13	13.13	13.13

对陕西杨凌西大寨中学的“猪、厕—沼—菜”卫生校园模式进行了财务评价,其财务净现值(NPV)为 46 800 元,财务内部收益率(IRR)为 11.7%,动态投资回收期(RP)为 15 年。显见,该模式的内部收益率远远大于社会贴现率($i=10\%$)^[12],表明陕西杨凌西大寨中学的“猪、厕—沼—菜”农村沼气卫生校园模式具有一定的财务赢利能力和投资回收能力。同时,模式中的沼气池不仅沼气年收益 1.83 万元,而且由于沼液(渣)取代了化肥和农药,使蔬菜产量提高了 20%,质量也大大提高,真正成为无公害的绿色产品,市场竞争力较强。而太阳能畜禽舍使得猪舍温度提高,缩短了出栏时间,提高了出栏率,增加了经济效益。

4 结 论

1) 发展以高效沼气为纽带的“猪、厕—沼—菜”农村沼气生态校园模式,可以化废为宝,促进生态校园系统物质流、能量流、养分流的良性循环和废弃资源的合理利用,具有“节煤、节电、节水、节劳,增肥、增产、增效,净化厕所、净化校园”的“四节、三增、二净化”的综合效果。

3 效益分析与评价

在陕西杨凌西大寨中学初期投资 39 万元建成生态校园系统研发基地,其中 100 m³ 的沼气发酵系统、15 m³ 的水封池、4 m³ 的前处理池、13 m³ 的无配置自压式贮气柜组成的沼气系统共投资 13 万元;带有沼液自动冲厕功能的 200 m² 太阳能生态厕所和年出栏 80 头良种瘦肉型光明猪的 60 m² 的太阳能猪舍投资 20 万元;320 m² 的日光温室投资 5 万元;改建灶台、添置安全节能沼气灶具投资 1 万元。系统模式建成后,其运行费用主要包括沼气池出料用工及设备更新费用、养猪饲料、仔猪及人工费、灌溉系统水电费及设备维修费等,沼气系统的寿命期按照 25 年计算,其投入产出效益分析见表 1。

2) 旋动式高效沼气亚系统为生态校园粪污的无害化处理和资源化利用奠定了科学技术基础,无人值守沼液冲厕技术实现了生态校园资源循环利用,为模式系统的长效运行提供了技术保障。

3) 生态种植亚系统为生态校园模式沼气发酵残留物的消纳提供了必要的场所,为培养“德、智、体、劳”复合型人才建立起学科技、用科技的教学实践基地。

4) 因校制宜,建立畜禽生态养殖亚系统,优化了生态校园模式沼气发酵亚系统原料营养结构,为学校勤工办学,增加收益开辟了道路,使生态校园模式系统更加完善、更加合理。

5) 试点结果表明,“猪、厕—沼—菜”生态校园模式财务净现值为 4.68 万元,财务内部收益率为 11.7%,具有显著的环境、生态、社会和经济综合效益。

参 考 文 献:

[1] 苑瑞华. 沼气生态农业技术[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
[2] 王海英,董锁成. 甘肃陇西县庭院生态农业模式分析[J]. 中国沼气,2006,24(4):41-45.
[3] 王兰英,邱 凌,杨 青. 西北农村生态校园模式经济效益评价主成分投影模型及应用[A]//2008 中国农村生物质能源国

际研讨会暨东盟与中日韩生物物质能源论坛论文集[C].北京:中国农业出版社,2008;292—297.

[4] 王让学.提高陕西黄土高原窑窖蓄水效益[J].水利与建筑工程学报,2008,(3):76—79.

[5] 邱 凌,杨改河,杨世琦.黄土高原生态果园工程模式设计研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(5):65—69.

[6] 尚新良.梦想在创新中实现—全国人大代表范肖梅谈生态校园创新工程[J].新西部,2006,(6):70—72.

[7] 王兰英,邱 凌,贺光祥,等.范家寨中学生态校园模式经济效益分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,(8):108—112.

[8] 邱 凌.庭园沼气高效生产与利用[M].北京:科学技术文献出版社,2007;221—223.

[9] 苑建伟,邱 凌,刘娟娟,等.农村中学公厕粪污处理工艺设计[J].农机化研究,2007,(10):83—85.

[10] 邱 凌.沼气生产工[M].第1版.北京:中国农业出版社,2004;73—75.

[11] 李金才.生态农业标准体系与典型模式技术标准研究[D].北京:中国农业科学院,2007.

[12] 张全国,杨世关,徐广印,等.中部地区生态果园的沼气系统[J].太阳能学报,2003,(1):85—89.

Study on “pig(toilet)-biogas-vegetable” eco-campus mode in the Loess Plateau

WANG Lan-ying¹, QIU Ling², JIA Hong-tao³

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Baoding LBD Electric Co., Ltd., Baoding, Hebei 071051, China)

Abstract: Based on ecology, economics and energy science, a new mode of eco-campus with biogas as a link in the Loess Plateau region of China was presented. The results show that the biogas technology, sanitary toilet, eco-plantation with eco-breeding, the utilization technology of substituting the ferment residues(i.e. bio dross and bio liquid) for pesticide and chemical fertilizer, etc. are feasible in the extreme. Simultaneously, the biogas technology can be used to organize invidual agricultural technology(i.e. pig raising, vegetable planting etc.) properly to produce pollution-free vegetables. In the mode the biogas plays the role as linkage between planting and raising, linking the planting and raising together and improving each other, and forming a benign ecology cycle which can provide social and economic benefits.

Key words: biogas; campus; mode; benefit

(上接第 259 页)

The evolutive process of ecological environment in the river-source region of the Yangtze River, Yellow River and Lantsang River and its leading factors

HU Liang-wen^{1,2}, FENG Yong-zhong^{2,3}, YANG Gai-he^{2,3}, REN Guang-xin^{2,3}

(1. Shanxi Meteorological Science Institute, Taiyuan, Shanxi 030002, China;
2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The ecological environmental evolution in the river-source region of the Yangtze River, Yellow River and Lantsang River has been affected by natural and human being factors together. Knowing which are the leading factors in them is very important to study the evolutive mechanism and intensity of the regional ecological environment. In the paper, the ecological environmental evolution process was systematically analyzed and the factor system that affected the ecological environment evolution was established in the region, and the leading-factor-index-system that affected the ecological environment evolution was also established. The weight had been decided by 42 nationwide famous scientists in the field through the questionnaire investigation, and the natural factors including temperature and precipitation and the human factors including animal husbandry have been confirmed through analytic hierarchy process (AHP), and the order of these factors were also confirmed.

Key words: the river-source region of Yangtze River, Yellow River and Lantsang River; ecological environment; evolution; leading factor; analytic hierarchy process