

范家寨中学生态校园模式及经济效益分析

王兰英^{1a},邱 凌^{1b},贺光祥²,孙玉芳^{1b}

(1 西北农林科技大学 a 机械与电子工程学院 b 农学院,陕西 杨凌 712100;
2 陕西省延安市农村能源建设办公室,陕西 延安 716000)

[摘 要] **【目的】**依据西北地区自然、气候和资源条件,构建以沼气工程为纽带的西北农村中、小学生态校园模式,并对其经济效益进行分析。**【方法】**以陕西凤翔范家寨中学为试点,研究了西北生态校园模式的结构和单元功能,并通过财务分析,对草—羊(厕)—沼—果模式生态校园的经济效益进行了研究。**【结果】**该模式净现值>0,内部收益率(0.13)>社会折现率;益本比(1.077)>1。**【结论】**该模式具有良好的经济效益,值得在北方地区推广使用。

[关键词] 生态校园;沼气系统;模式构建;效益分析;西北地区

[中图分类号] X322.013 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2008)08-0108-05

Analysis of economic benefit and eco-campus mode
built in Fanjiazhai Middle School

WANG Lan-ying^{1a}, QIU Ling^{1b}, HE Guang-xiang², SUN Yu-fang^{1b}

(1 a College of Mechanical and Electronic Engineering, b College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,
China; 2 Rural Energy Office of Yan'an City, Yan'an, Shaanxi 716000; China)

Abstract: **【Objective】** According to northwest natural conditions, climate and resources, an eco-campus mode was built with biogas as link in Fanjiazhai Middle School, then its economic benefit was analyzed. **【Method】** Take Fanjiazhai middle school as an example of eco-campus to introduce mode's construction, and the straw-sheep(toilet)-biogas-fruit mode was analyzed through financial analysis. **【Result】** Results show that the net Present Value >0, the Economic Internal Rate of return is 0.13>Basic Discounted Rate, the benefit (total income/total cost) is 1.077>1. **【Conclusion】** The mode has good economic benefit, and deserves popularization in northern area.

Key words: biogas system; mode building; eco-campus; analysis of economic benefit; north western area

我国西北地区地处干旱半干旱地区,生态系统脆弱且不稳定。在严酷的自然条件和日益增长的人类活动作用下,西北地区植被破坏严重,水土流失及自然灾害频繁发生,环境污染日益加剧,生态平衡失调^[1]。随着沼气技术的发展和推广应用,以沼气为纽带的北方“四位一体”模式、南方“猪—沼—果”模式^[2]、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”等模式,在我国农村得到了广泛的推广应用,取得了显著的经济、社会和生态效益。在农业资源与环境问题、经济发展与生态问题的巨大挑战下^[3],我国农村中、小学校也面临着节能减排和资源循环利用的问题^[4]。以沼气工程式为核心的生态校园模式可以将学校厕所粪污进行无害处理和资源化利用,解决千百年来农村学校旱厕脏、乱、臭

* [收稿日期] 2007-10-24
[基金项目] 陕西省重大科技专项计划(STXY-01-02);教育部科技专项计划(2006-291)
[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:ql2871@126.com

的问题,同时产生的沼气能够补充学校 80%的生活用能,产生的沼肥用于学校果园和菜地,可生产无公害有机果蔬,增加学校收入^[5]。但目前,适合西北地区农村学校的生态校园模式未见报道。为此,本研究结合陕西省提出的在苹果和奶畜业中发展循环经济的思路,构建了高效沼气工程与循环经济理念组装修配的西北农村中小生态校园模式,并对其经济效益进行了深入分析,以期改善西北农村中、小学校生态环境,为我国西北地区农村中、小学校新型生态校园模式推广提供依据。

1 模式构建与单元优化

1.1 模式构建

为了保护学校生态环境,改善学校的经济条件,解决农村学校的卫生问题,结合陕西凤翔县范家寨中学的土地、气候、资源、人口、经济实力状况,作者提出了“草—羊(厕)—沼—果”生态校园模式。该模式结合陕西省主导产业苹果业和养羊业而设计了果园和羊圈,为了充分利用学校的土地和节省饲料费用,在果园行间和部分空地种草;为了处理学校厕所

的粪污、保护生态环境而设计了沼气池,使得厕所粪污实现了资源化利用,产生的沼气输送到厨房,改善了厨房的炊事环境。整套模式形成校园建果园,果园种草,以草养羊,羊奶供学生,人畜粪便生产沼气,沼液冲厕,多余沼液、沼渣作肥料,为苹果树施肥的“草—羊(厕)—沼—果”循环经济模式。

西北地区日照充足,为苹果的生长创造了有利条件,利用沼液和沼渣为果树进行施肥和杀虫,既实现了绿色无公害果品生产,提升了果品的品质,又减轻了农药、化肥对环境的污染。该模式从西北地区自然、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的角度出发,充分利用西北充裕的太阳能和学校的闲置土地,发挥系统内部动、植物与光、热、气、水、土等环境因素的作用,建立了种群之间互惠共生,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(图 1)。该模式以学校空地为载体,以太阳能为动力,以新型高效沼气池为纽带,构建了良性循环的生态校园。

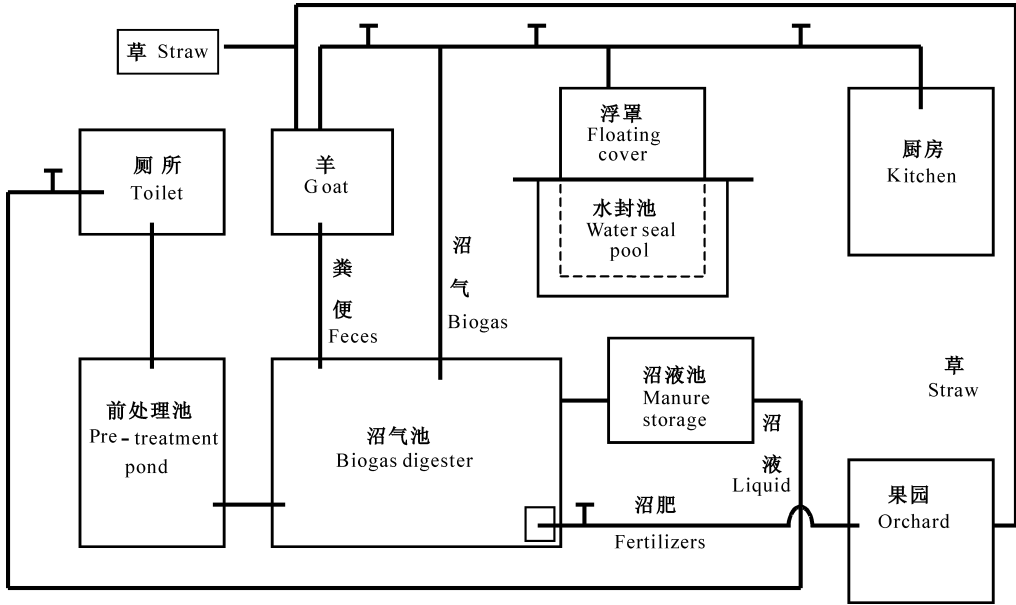


图 1 草—羊(厕)—沼—果生态校园模式
Fig. 1 Eco-campus mode of “straw-goat-biogas-orchard”

1.2 单元优化

构建的生态校园系统包括卫生厕所、沼气系统、生态养殖和生态果园种植 4 个单元。

1.2.1 厕所的设计 根据学生年龄结构及如厕次数的不同,厕所面积和蹲位数因学校的规模、学生的人数而设计,其计算公式^[5-6]如下:

$$S=\frac{Q}{R},Q_{\text{蹲}}=\frac{Q'}{R'}.$$

(1)

式中: S 为学校的厕所面积(m^2); Q 为学校的总人数; 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, $R=9$); $Q_{\text{蹲}}$ 为中小学厕所的蹲位(个); Q' 为中小学的男、女生数量(人); R' 为男女生的厕所密度系数(若 $Q_{\text{蹲}}$ 为男厕, R' 取 30;

$Q_{\text{蹲}}$ 为女厕, R' 则取 10)。

1.2.2 养殖规模的设计 养殖规模由学校的经济实力、空地面积和人员组成状况等因素确定。学校的经济实力指学校可以额外承担养羊的大笔费用的经济能力;空地面积是指学校可以被利用的闲置土地;人员组成状况指能为养羊提供管理的人员。每只羊需要 1~2 m² 的羊圈和相当面积的活动场地,因此每只羊取 4 m² 的场地。

$$Q_{\text{羊}}=A \cdot E+C \cdot S+D \cdot P \tag{2}$$
$$V=\frac{Vt \cdot HRT}{B}=\frac{(G_1 \cdot TS_1+G_2 \cdot TS_2)X+(H_1 \cdot TS_3+H_2 \cdot TS_4)Y+(J_1 \cdot TS_5+J_2 \cdot TS_6)Z}{S_0 \cdot D \cdot B} \tag{3}$$

式中: V 为沼气发酵装置总容积(m³); Vt 为沼气池每天进料量(m³/d); B 为发酵装置有效容积,取 85%; HRT 为水力滞留期,生态校园沼气工程属于小型沼气工程, HRT 取 20(d); X 、 Y 、 Z 分别为学校养羊的数量、教职工数量、学生数量; G_1 、 G_2 分别为成年羊每天的排粪量和排尿量(kg/(只·天)); TS_1 、 TS_2 分别为成年羊粪尿的总固体含量(%); H_1 、 H_2 分别为成年人每天的排粪量和排尿量(kg/人); TS_3 、 TS_4 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); TS_5 、 TS_6 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/m³),一般为 1 000 kg/m³。

1.2.4 生态果园的设计 根据苹果生长周期内的氮、磷、钾营养需求以及羊粪尿和人粪尿的氮、磷、钾成分组成,果园种植面积依下式确定:

$$M=99.42X+52.17(Y+Z)。$$

$$M=99.42X+52.17(Y+Z)。$$

式中: M 为果园面积(m²); X 、 Y 、 Z 含义同上。

果园中果树间隙套种的杂草应选择适应性比较强、耐热、耐寒、耐阴、喜湿,能够形成密集的草层(保墒性好),枝蔓不缠绕果树,能增强土壤肥力的品种。本研究选择了再生力和竞争力强的三叶草,其有控制、压灭杂草的作用,一年覆盖期长达 8~9 个月,使夏季地温不致过高,冬季不致过低,每 hm² 每年约可收获鲜草 40 200 kg。

2 投入费用和收益

范家寨中学是一所乡办农村初级中学,位于陕西省关中平原西部的宝鸡市凤翔县范家寨乡,2005 年该校被确定为陕西省生态校园创新工程项目试点学校。该校以养羊、育果和改厕建沼为切入点,按照模式规划修建了 100 m² 的无公害卫生厕所及 104 m³ 沼气池;改造了 0.4 hm² 果园,新嫁接了玉华早

式中: $Q_{\text{羊}}$ 为羊的养殖数量(只); A 为学校的经济系数,取 1/400; E 为学校养羊的经济能力(万元); C 为学校空地面积系数,取 2/15; S 为学校可以用于养羊的空地面积(m²); D 为学校人员系数,取 1/200; P 为养羊可用职工(人)。

1.2.3 沼气系统的设计 沼气发酵系统的容积由学校厕所粪污和羊粪的供应量决定^[3],应遵循下列规定:

富、秋红嘎拉、富红早嘎、红盖露、蜜脆、凯蜜欧等 10 多种新优苹果品种,并结合大改形和强拉枝进行低部位嫁接接头,共栽植和嫁接果树 560 棵;建造了 100 m² 的羊舍和配套养羊设施,饲养奶山羊 50 余只,雇用 2 名临时工进行管理,符合项目建设初期的设计要求。

2.1 建设投资

项目初期的建设投资包括:卫生厕所改建(C_1)、沼气系统(C_2)、果园改建(C_3)、厨房改建(C_4)以及羊舍和羊圈(C_5)。厕所屋顶采用 7.5 cm 厚保温彩钢板,便槽和地面、墙面贴瓷砖,共投资 13 万元。沼气系统由沼气发酵系统、输配系统、沼液冲厕系统和保温设施组成,共计 8 万元。果园改建的费用主要是果树嫁接费投资,约 3 万元。厨房改建投资包括沼气灶具、热奶设施等费用,共 0.6 万元。羊舍、羊场、贮青池建设费和种羊采购费,共 29 万元。

2.2 运行成本

项目的运行成本由学校运行一年的支出分析得出。项目中沼气系统、养殖系统每年需水电费 0.064 万元;雇用工人工资 1.8 万元;羊场年需精饲料费用 1.107 万元,草料由学校的学生靠勤工俭学交纳。每 hm² 果园每年投入农药费用 0.262 万元,化肥 0.334 万元,果袋 0.274 万元,其他投入 0.043 万元,共计 0.913 万元。沼气系统每运行 5 年必须彻底清理检修一次发酵装置和贮气柜,检修约需用工费 350 0 元^[7]。

2.3 产出收益

该项目的直接收益包括沼气效益、羊奶效益、果园效益、羊羔效益、沼肥效益以及节水收入^[8]。

由于沼气系统采取了保温措施,可以达到日产沼气 0.3 m³/(m³·d),年产气量约 1.152 万 m³。由于学校传统的燃料为煤炭,因此以煤炭作为替代燃料来估计沼气的价值^[9] 为 1.08 元/m³,使用沼气

年节约 1.24 万元。

果园第 2 年开始有少许苹果收入,为 0.084 万元;第 3 年达到 25%挂果,收入 1.01 万元;第 4 年收入 2.52 万元;第 5 年开始产果率达 100%,收入 4.20 元;以后每年收入 4.2 万元。

50 只奶山羊在 9 个月产奶期中,共收入 4.05 万元。羊羔第 1 年收入 0.42 万元,以后每年收入 1.01 万元。

沼液冲厕每天 6~18 min,年节水收入约 0.53 万元;沼气池年出售肥料收入 0.5 万元;沼液施肥节水折合收入 0.5 万元。

第 1 年合计收入 7.32 万元,第 2 年收入 7.99 万元,第 3 年可收入 8.91 万元,第 4 年收入 10.42 万元,第五年及以后每年约收入 12.10 万元。

3 经济效益分析

3.1 评价依据的选择

苹果价格按照普通苹果价格计算,不考虑绿色

食品对价格的影响^[10]。有研究表明,施用沼肥达到 5 年以上的果园,其盛果期可延长 1 年^[11]。照此推算,如果在果园的整个生命周期中都施用沼肥(配合施用部分化肥),与以施用化肥为主(部分施用农家肥)的果园相比,其寿命至少可延长 3 年以上^[11](自然灾害、人为因素造成的减产等情况忽略不计)。沼气工程可以使用 25 年以上,整套生态校园系统按照 20 年使用年限计算。

3.2 财务分析

范家寨中学生态校园整套系统的财务评价现金流见表 1。从学校的角度进行财务评价分析^[12-13],社会折现率按照 10%计算^[14-15],结果显示,该系统的净现值(NPV)为 128 600,>0;内部收益率为 0.13,>社会折现率 0.10;益本比(总收益/总成本)为 1.077,>1。从以上 3 个经济指标可以看出,该模式在解决学校的生活用能、节约常规能源等方面具有良好的经济效益。

表 1 范家寨中学生态校园系统财务现金流量
Table 1 Financial cash flow of eco-campus mode in Fanjiazhai Middle School 万元

年数 Year	建设成本 Construction cost	运行成本 Operating cost	总成本 (B) Total cost	总成本现值 Present value of total cost	收益(C) Receipt	收益现值 Present value of receipts	净收益 Net income	净收益现值 Present value net income	累计净收益 现值 Present value of all net income
0	53.60		53.60	53.60					-53.60
1		2.971	2.971	2.777	7.320	5.526	4.349	3.954	-49.65
2		2.971	2.971	2.595	7.990	5.426	5.019	4.148	-45.50
3		2.971	2.971	2.425	8.910	6.620	5.939	4.462	-41.04
4		2.971	2.971	2.267	10.42	6.187	7.449	5.088	-35.95
5		3.321	3.321	2.368	12.100	5.782	8.779	5.451	-30.50
6		2.061	2.061	1.373	12.100	5.404	10.039	5.667	-24.83
7		2.971	2.971	1.850	12.100	5.051	9.129	4.685	-20.15
8		2.971	2.971	1.729	12.100	4.720	9.129	4.259	-15.89
9		2.971	2.971	1.616	12.100	4.411	9.129	3.872	-12.02
10		3.321	3.321	1.688	12.100	4.123	8.779	3.385	-8.63
11		2.971	2.971	1.412	12.100	3.853	9.129	3.200	-5.43
12		2.971	2.971	1.319	12.100	3.601	9.129	2.909	-2.52
13		2.971	2.971	1.233	12.100	3.365	9.129	2.644	0.12
14		2.971	2.971	1.152	12.100	3.145	9.129	2.404	2.53
15		3.321	3.321	1.204	12.100	2.939	8.779	2.102	4.63
16		2.971	2.971	1.006	12.100	2.747	9.129	1.987	6.61
17		2.971	2.971	0.941	12.100	2.567	9.129	1.806	8.42
18		2.971	2.971	0.879	12.100	2.399	9.129	1.642	10.06
19		2.971	2.971	0.822	12.100	2.242	9.129	1.493	11.55
20		3.321	3.321	0.858	12.100	2.096	8.779	1.305	12.86
总计 Total	53.60	59.910	113.510	85.113	228.240	91.728	168.33	66.460	

4 结 论

1)范家寨中学生态校园模式以沼气工程为纽带,以学校的闲置空地为载体,将草、羊、厕、沼、果有

机结合,实现了能量流、物质流、营养流的良性循环。
2)在不考虑学校规模突变、学校规划巨变和自然灾害的情况下,该模式在正常运行的 20 年内其净现值(NPV)为 128 600,>0;内部收益率为 0.13,>

社会折现率;益本比(B/C)为 1.077,>1。表明该模式在解决学校生活用能、变废为宝的同时,还具有良好的经济效益。

[参考文献]

- [1] 翟岁显,翟瑞雪. 西北地区生态环境现状、症结及启示 [J]. 中国农学通报,2005,21(9):376-379.
- Zhai S X,Zhai R X. Ecological environment,Crux and Inspiration of Northwest [J]. China's Agriculture Communications, 2005,21(9):376-379. (in Chinese)
- [2] 钟文静. 西北地区生态资源质量评价与差异分析 [J]. 可持续发展,2007(1):17-19.
- Zhong W J. Quality evaluation and Difference of Northwest Ecological Resources [J]. Sustainable Development,2007(1):17-19. (in Chinese)
- [3] 邱 凌. 以沼气为纽带的农牧复合生态工程优化设计与关键技术研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2007.
- Qiu L. Study on optimize design and key technology in the compound ecological engineering of farming and stockbreeding connection by biogas [D]. Yangling,Shaanxi:Northwest A&F University,2007. (in Chinese)
- [4] 关立忠,李士田,牛丽娟,等. 中国农村卫生厕所设计及影响因素典型调查研究报告 [J]. 中国卫生工程学,1994,4(3):163-167.
- Guan L Z,Li S T,Niu L J. Research of rural toilet's design and impacts [J]. Chinese Journal of Public Health Engineering, 1994,4(3):163-167. (in Chinese)
- [5] 刘娟娟,邱 凌,苑建伟. 黄土高原沼气生态果园经济效益评价 [J]. 农机化研究,2007(4):49-53.
- Liu J J,Qiu L ,Yuan J W. Benefit evaluation of economy on Loess Altiplano biogas eco-orchard model [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2007(4):49-53. (in Chinese)
- [6] Wang X H,Feng Z M. Sustainable development of rural energy and its appraising system in China [J]. Renewable and sustainable energy reviews,2002(6):395-404 .
- [7] 叶旭君,王兆骞,李全胜. 以沼气工程为纽带的生态农业工程模式及其效益分析 [J]. 农业工程学报,2000(2):93-96.
- Ye X J,Wang Z Q,Li Q S. Biogas-project-linked eco agricultur-
- al engineering model and its benefit analysis [J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering,2000(2):93-96. (in Chinese)
- [8] Wang X H,Di C L,Hu X Y. The influence of using biogas digesters on family energy consumption and its economic benefit in rural areas-comparative study between Lianshui and Guichi in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2007(11): 1018-1024.
- [9] 原瑞芬. 庭院生态农业模式应用及效益分析 [J]. 农村能源,2002,102(2):19-21.
- Yuan R F. Application and benefit analysis of courtyard eco-agricultural model [J]. Rural Energy, 2002,102(2):19-21. (in Chinese)
- [10] Murphya J D,McKeogh B,Kiely G. Technical/economic/environmental analysis of biogas utilization [J]. Applied Energy, 2004(77):407-427.
- [11] Li Y Y,Chen Y,Sun L. Town and country overall estimate and demonstration analyses on Nanjing [J]. Journal of Agro-technical Economics,2004(1):24-30.
- [12] 戴 林,李子奈. 农村能源综合建设项目社会效益及可推广型评价方法探讨 [J]. 农业工程学报,2001,17(2):115-117.
- Dai L,Li Z N. Methodology of socioeconomic effectiveness and extension of "Integrated Rural Energy Development Project" [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering,2001,17(2):115-117. (in Chinese)
- [13] 毛 羽,张无敌. 以沼气为纽带的生态农业模式效益分析 [J]. 中国沼气,2005,23(3):36-39.
- Mao Y,Zhang W D. Discussion on benefits of eco-agricultural model with biogas fermentation as a link [J]. China Biogas, 2005,23(3):36-39. (in Chinese)
- [14] 马 驰,胡应得,梅成效. 可再生能源应用对农村可持续发展的影响评价体系 [J]. 贵州财经学院学报,2004(4):39-42.
- Ma C,Hu Y D,Mei C X,et al. The evaluation system for the effect of renewable energy utilization on rural sustainable development [J]. Journal of Guizhou College of Finance and Economics,2004(4):39-42. (in Chinese)
- [15] Yi J Y. Probe into problems of environmental economic valuation [J]. Journal of Environmental Guide,1994(6):1-3.

紫外诱变选育高效微生物絮凝剂产生菌及其应用

吴焕利¹,冯贵颖¹,赵淑艳²,张雪峰¹,杨 娜¹

(1 西北农林科技大学 污染控制研究中心,陕西 杨凌 712100;2 西藏农牧学院 资源环境系,西藏 林芝 860000)

【摘要】 【目的】为紫外诱变技术在环境工程中的应用提供参考。【方法】由1株絮凝剂产生菌XL-18出发,经过紫外诱变得得到絮凝活性高的正突变菌株YB-1,用红外光谱、薄层色谱分析纯化后YB-1产微生物絮凝剂的成分,苯酚-硫酸法分析样品中糖含量,双缩脲法分析样品中蛋白质含量,并用YB-1产微生物絮凝剂处理水性油墨废水,研究了不同因素(pH、投加量、助凝剂)对絮凝效果的影响。【结果】菌株YB-1的絮凝率为95.0%;YB-1产微生物絮凝剂含有羟基、羧基等官能团,总糖含量为6.630 g/L,不含蛋白质,其是由葡萄糖和甘露糖为主要单体组成的多糖;添加0.5 mol/L CaCl₂溶液作助凝剂、废水pH 8.0、YB-1发酵液投加量为60 ml/L时,水性油墨废水的COD、浊度、色度去除率分别为88.25%,94.55%和95.27%,并得到了该微生物絮凝剂的动力学方程。【结论】紫外诱变技术可以明显提高微生物絮凝剂的絮凝活性,是获得高效微生物絮凝剂产生菌的有效途径。

【关键词】 紫外诱变;微生物絮凝剂;水性油墨废水;动力学方程

【中图分类号】 X172;X703

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2008)08-0113-06

Mutation breeding of bioflocculant-producing strain with high-efficiency by ultraviolet and its application

WU Huan-li¹, EENG Gui-ying¹, ZHAO Shu-yan², ZHANG Xue-feng¹, YANG Na¹

(1 Research Centre of Pollution Control Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Department of Resources and Environment Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, LinZhi, Tibet 860000, China)

Abstract: 【Objective】 The study was done to provide reference for the application of UV induced mutation technology in environmental engineering. 【Method】 A high efficient bioflocculant strain YB-1 has been obtained by UV induced mutation from an inefficient strain named XL-18. The bioflocculant element was obtained with TLC and analyzed with IR. The sugar content and protein content were analyzed with Phenol-sulfate quantitative analysis and Biuret law. The wastewater of water-based ink was treated by YB-1 to investigate the effects of pH, dose and coagulant aids on flocculation. 【Result】 The flocculant efficiency of YB-1 was 95%. The IR spectrum showed that flocculant YB-1 contains hydroxyl, carboxyl etc. functional groups, total sugar content 6.630 g/L, no proteins. The flocculant consisted of mannose and glucose, as well as other monomers. The removal rate of COD, turbidity and chroma were 88.25%, 94.25% and 95.27 respectively, when pH was 8.0; inoculum was 60 ml/L and 0.5 mol/L CaCl₂ as coagulant aid. In addition, the dynamics equation of deposition was deduced. 【Conclusion】 UV induced mutation can improve flocculation activity significantly. It is an effective way to breed bioflocculant-producing strain with high efficiency.

Key words: UV mutagenesis; microbial flocculant; wastewater of water-based ink; dynamics

* [收稿日期] 2007-08-27

[基金项目] 2006年第一批中央环境保护专项基金(财建[2006]859号)

[作者简介] 吴焕利(1982—),男,辽宁黑山人,硕士,主要从事废水生物处理研究。E-mail:li_0854@sina.com.cn

[通讯作者] 冯贵颖(1954—),女,河南沁阳人,教授,硕士生导师,主要从事环境生物技术研究。
E-mail:guiyingfeng545@sina.com.cn