

沼气生态工程的土壤改良效应分析

涂国平¹, 贾仁安¹, 朱文灿², 周春火³

(1. 南昌大学 中国中部经济发展研究中心, 江西 南昌 330047;

2. 江西省农业厅, 江西 南昌 330046; 3. 江西农业大学, 江西 南昌 330045)

摘 要: 针对红壤丘陵岗地开发利用中存在的重用轻养现象, 以江西省上高南方果园科研示范基地为例, 从系统分析的角度, 统计分析了在红壤丘陵岗地开发利用中通过建立循环经济系统, 实施沼气生态工程建设对提高土壤有机质含量的效应。研究表明, 通过绿肥套种可以明显提高土壤有机质; 而开展沼气工程, 施用沼肥对果园土壤有机质含量的提高, 具有十分显著的促进作用, 可以在相对较短的时间, 较大幅度地提高土壤有机质含量。

关键词: 红壤低丘; 沼气工程; 水土保持; 绿肥套种; 有机质

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2006)05—0015—04

中图分类号: S157

Study on Effects of Soil Improvement by Biogas Ecological Engineering

TU Guo-ping¹, JIA Ren-an¹, ZHU Wen-can², ZHOU Chun-huo³

(1. Research Center for Central China Economic Development, Nanchang University, Nanchang

330047, Jiangxi Province, China; 2. Department of Agriculture of Jiangxi Province, Nanchang 330046,

Jiangxi Province, China; 3. Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, Jiangxi Province, China)

Abstract: There is a phenomenon of intense utilization with less maintenance in the development and utilization of the low hillocks in the south red earth region. Taking the South Scientific Demonstration Base of Fruit Industry in Shanggao, Jiangxi Province as an example, we analyzed effects of circulated economical system establishment and biogas ecological engineering construction to improve soil organic matter of the low hillocks in the region. Our study illustrates that interplant green manure may remarkably increase soil organic matter content, and application of biogas fertilizer may greatly improve soil organic matter in a relatively short time.

Keywords: red earth hillock; biogas engineering; soil and water conservation; interplant green manure; soil organic matter

江西省是全国亚热带红壤集中分布的地区, 红壤是江西省分布最广, 面积最大的地带性土壤, 总面积 $1.05 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 大约占全省总面积的 70.7%, 其中红壤丘陵岗区占 90% 以上^[1]。

为了合理开发利用红壤资源, 江西省开展了一系列红壤开发项目推广研究。如从 1986 年起, 利用世界银行贷款开展的世界银行贷款第一期红壤开发项目, 以组织农民上山办家庭农场为主要开发经营模式。1994 年在第一期项目的基础上, 启动的红壤二期项目, 以小流域为基本治理单元, 以农户上山办家庭农场为主, 因地制宜实行家庭、集体、个人和股份制经营个人模式, 进行规模开发和经营。通过红壤项目的开发, 使开发区生态环境得到改善, 水土流失得以控制, 改善了农业基础设施, 增加了农民收入。同时,

引导农民转变传统农业的生产观念, 开展立体养殖, 选优品种, 注重改善和治理生态环境, 提高了农民的市场经济观念, 对加快经济发展发挥了积极作用。

在红壤开发中存在的一个重要问题是开发中有有机肥和绿肥的施用量过低。部分项目区年施用有机肥和绿肥仅为 $12 \sim 20 \text{ t/hm}^2$, 导致丘陵果园有机质含量开发后出现下降趋势, 有机质的严重缺乏, 已成为影响红壤经济开发效益的重大难点问题之一^[1]。

为了探讨解决普遍存在的土壤肥力退化问题, 农业部提出了在全国实施“沃土计划”。为此, 结合江西省的实际情况, 江西省提出: 实施区域每年每 1 hm^2 耕地有机肥投入不低于 30 t , 要求有机肥投入总量每年递增 5% 以上。针对红壤低丘果园, 世界银行专家在《中国红壤开发二期项目评估报告》中要求, 果园定植

收稿日期: 2005-08-15

修稿日期: 2005-10-14

资助项目: 国家自然科学基金(70361002); 江西省科委课题“红壤低丘土地要素与植物种群生态耦合在农村可持续发展中作用研究”, “农村沼气生态工程模式研究”

作者简介: 涂国平(1963—), 男(汉族), 江西省南昌市人, 博士, 教授。研究方向为复杂性系统分析和生态经济。E-mail: tgping@ncu.edu.cn.

前达到施用有机肥 70 t/hm² 的标准。因此,在红壤开发中,必须重视研究科学有效的防止土壤退化开发模式,从治理水土流失,优化模式结构入手,发展可持续农业。在国家农业部的支持下,江西省农业厅组织有关单位在“南方果业科研示范基地”进行试验研究,通过科学的规划和立体林果业的开发,建立了以沼气工程为纽带的,水土保持为根本,兼顾经济效益的生态果业开发利用模式。经过数年的实践取得了良好的生态效益和经济效益。

1 南方果业科研示范基地沼气生态果业模式

南方果业科研示范基地是由国家农业部外贸经济中心、江西省农业厅外资办公室共同建设的以为南方红壤低丘地区培选和推广优良果树品种,提高南方果业整体水平和探索南方红壤低丘地区水土保持开发模式为战略核心目标的示范性科研基地。

基地所处的王陂港小流域属发育于第四纪红色黏土的红壤,土层深厚、土质黏重,透水、通气性差,养分含量低。虽然年降雨量丰沛,由于降雨集中,加之土壤的保水性差,季节性缺水严重。基地总面积 27 hm²,实际果树种植面积 18.7 hm²(良种试种园 4.3 hm²,示范果树种植面积 14.3 hm²)。良种引进观察园拥有 9 个树种 40 个品种(梨、桃、李、葡萄、柿、板栗、柑橘、枇杷、枣等)。示范果园全为南方早熟梨品种翠冠和中熟品种黄花(授粉树),比例为 3:1。良种观察园的桃、李及梨第 2 年可挂果。此外留有 1.5 hm² 的苗圃地和 1.3 hm² 的备用地(留作继续种植引进良种)。目前建有住房 4 栋,仓库 1 个,面积 600 m² 多,沼气池 3 个。

自 1998 年开始建设,已开发利用坡度在 5°~10° 之间,绝对高度落差低于 100 m 的低丘岗地近 20 hm²。通过数年的建设,基地已引种包括板栗、枣、梨、桃、柑橘等水果的 40 个不同品种,建立了年可提供各类优质果苗近 1.00×10⁵ 棵的苗圃。同时在优良果树品种的引进过程中,摸索总结出以果树种植为中心,沼气工程为基础,养殖业、绿肥套种为补充的,辅之于防护林的立体生态果业的模式,取得了良好的经济效益和生态效益。通过对生态果业系统的系统结构分析^[2],得到系统的功能结构关系图 1。

从对系统的结构分析可见,南方果业科研示范基地农业生态系统是一个包含养殖业、种植业(包括果业),通过沼气工程和绿肥套种实现系统内部物质多次循环,达到生态、经济、社会效益协调发展的农业能源循环经济系统。

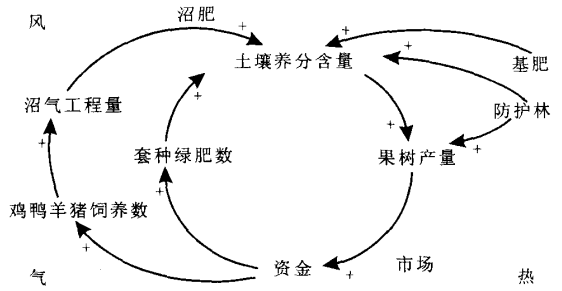


图 1 系统功能结构关系图

2 土壤有机质含量统计分析

从上述系统运行模型可以看到,套种绿肥作物是使得果园的套种经济效益有所下降,但是,套种绿肥可以改善土壤的有机质含量,提高土壤肥力,减少系统在保持提高土壤有效养分方面的成本投入,更重要的是由于套种绿肥,土壤有机质含量提高,可以保证果树生长所需的养分,延长果树的有效生产期,从而整体提高果园的经济效益和生态效益,使得果园土地能够高效可持续地利用。

为了研究模式对土壤有机质含量的影响,从 2002 年开始在基地进行土壤改良的对比实地试验。在果园实施一般绿肥套种的区域,2003 年利用随机抽样原理确定 20 个抽样点,在 2003 年 11 月和 2004 年 10 月对选定的 20 个抽样点分别采集土样,测得土壤有机质含量如表 1。

利用单一分布假设的科尔莫戈洛夫(Kolmogorov-Smirnov)检验方法^[3],判定土样有机质含量是否遵循正态分布。

假设土样有机质含量遵循的分布函数为 $F(x)$,土样有机质含量的经验分布为 $\hat{F}_n(x)$ 。考虑如下的假设:

- $H_0: F(x)$ 为正态分布 $F_0(x)$
- $H_1: F(x)$ 不是正态分布 $F_0(x)$

根据科尔莫戈洛夫(Kolmogorov) 检验方法,检验统计量为

$$D_n = \max_{-\infty < x < \infty} | \hat{F}_n(x) - F_0(x) |$$

在假设为真时,科尔莫戈洛夫证明有:对任意 $d > 0$,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(\sqrt{n}D_n < d) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k \exp\{-2k^2 d^2\},$$

对给出的检验水平 α ,如果 $\sqrt{n}D_n > d_\alpha$ 时就拒绝 H_0 ,反之接受 H_0 。

据此,利用 SPSS 软件对 2003 年和 2004 年的抽样数据可以计算得到相应的 $\sqrt{n}D_n$ 的取值分别为 0.663

和 0.555(见表 2),通过查对 $\sqrt{n}D_n$ 的临界值表,可知在 $\alpha = 0.1$ 的标准下,检验通过,即土样有机质含量的分布可以认为是遵循正态分布。

表 1 土样有机质含量数据

2003 年 11 月土样有机质 / (g · kg ⁻¹)	2004 年 10 月土样有机质 / (g · kg ⁻¹)
6.9	11.6
6.0	11.1
8.8	9.3
9.1	19.0
6.9	12.8
11.1	13.6
8.0	12.6
7.6	11.0
11.1	12.1
14.4	10.2
10.9	11.9
14.2	13.3
19.2	8.4
11.3	10.0
19.8	9.0
14.3	8.1
19.7	8.1
17.0	7.7
14.9	8.5
17.4	3.8

表 2 土壤有机质含量的单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验

参数名称	子参数名称	2003 年数据	2004 年数据
样本个数 N		20	20
正态分布参数	数学期望	1.2415	1.0605
	标准差	0.45623	0.30968
最大极差	绝对极差	0.147	0.124
	正极差	0.147	0.117
	负极差	-0.102	-0.124
Kolmogorov-Smirnov 检验值 Z		0.655	0.555
非对称双边检验显著值		0.784	0.918

a. 检验分布函数是正态分布. b. 根据数据计算结果.

在土样有机质含量遵循正态分布的前提之下,利用 2 个总体的正态分布的检验方法^[4],分析研究土壤改良的效果。

2 个总体的正态分布检验方法的基本步骤为^[4]:

假设有 2 个总体,其样本取值分别为 $x_1, x_2, \dots,$

x_n 和 y_1, y_2, \dots, y_m 。

样本均值和方差分别为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, s_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\bar{y} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_j, s_2^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_j - \bar{y})^2$$

首先检验 2 个总体的方差是否可以认为一致,检验统计量为:

$$F = \frac{\max\{s_1^2, s_2^2\}}{\min\{s_1^2, s_2^2\}} = \frac{s_{\text{大}}}{s_{\text{小}}} \sim F(n_{\text{大}} - 1, n_{\text{小}} - 1) \quad (1)$$

其中,如果 $\max\{s_1^2, s_2^2\} = s_1^2 = s_{\text{大}}$,则 $n_{\text{大}} = n, n_{\text{小}} = m$,否则 $n_{\text{大}} = m, n_{\text{小}} = n$,对给定的显著水平 α 。如果 $F \geq F_{\frac{\alpha}{2}}$,其中 $F_{\frac{\alpha}{2}}$ 满足 $\int_0^{F_{\frac{\alpha}{2}}} F(n_{\text{大}} - 1, n_{\text{小}} - 1) dx = 1 - \frac{\alpha}{2}$ 。则认为 2 个总体的方差有显著差异,否则,认为 2 个总体的方差相等。

其次检验 2 个总体的均值是否可以认为相等(在 2 个总体方差相等条件下)。检验统计量为:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}} \sqrt{\frac{(n-1)s_1^2 + (m-1)s_2^2}{n+m-2}}} \sim t(n+m-2) \quad (2)$$

如果 $t \geq t_{\alpha}$,其中 $\int_{-t_{\alpha}}^{t_{\alpha}} t(n+m-2) dx = 1 - \alpha$,则认为 2 个总体均值有显著差异;如果 $t \geq t_{2\alpha}$,其中 $\int_{-\infty}^{t_{2\alpha}} t(n+m-2) dx = 1 - \alpha$,则认为 x 对应的总体的均值 $\leq y$ 对应总体的均值。

如果 $t \leq -t_{2\alpha}$,其中 $\int_{-t_{2\alpha}}^{\infty} t(n+m-2) dx = 1 - \alpha$,则认为 x 对应的总体的均值 $\geq y$ 对应总体的均值。

2.1 土壤改良的时效性分析

研究在不同时间的改良效果是否存在差异性,即检验 2003 年和 2004 年的土样有机质含量是否存在显著差异。利用 2 个总体的正态分布检验方法^[4],检验 2003 年与 2004 年土样有机质含量的均值和方差是否存在显著差异。利用(1) 计算可以得到相应的统计量取值为

$$F = \frac{\max\{s_1^2, s_2^2\}}{\min\{s_1^2, s_2^2\}} = \frac{0.4543^2}{0.3096^2} = 2.15$$

式中: s_1, s_2 ——分别是 2003 年,2004 年的土样有机质含量的样本方差,经查对检验临界值表,在 $\alpha = 0.05$ 的标准下, $F_{\frac{\alpha}{2}}(19, 19) > 2.16$,可以认为 2 a 的土样有机质含量的方差无显著性差异,即方差相同。

在方差相等检验通过的前提下,由(2) 计算均值检验的统计量取值为

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}} \sqrt{\frac{(n-1)s_1^2 + (m-1)s_2^2}{n+m-2}}} = 1.4073$$

式中: \bar{x}_1, \bar{x}_2 ——分别是 2003 年,2004 年土样有机质含量的样本均值。经查对检验临界值表,在 $\alpha = 0.05$

的标准下, $t_{2\alpha}(38) > 1.684$, 可以认为 2a 的土样有机质含量的均值无显著性差异, 即均值相同。

以上检验结果显示, 土壤有机质含量的改善是长期的, 短时间内对土壤有机质的改良效果是有限的。

2.2 绿肥套种模式对土壤的改良分析

研究不实施沼气工程的一般绿肥套种模式对土壤的改良效果, 检验经过绿肥套种模式改良后, 土壤有机质与原始土壤是否存在差异。对果园中未开发区域的园区原始土壤进行随机抽样, 分析测得原始土壤的有机质含量数据如表 3。

表 3 原始土壤有机质含量数据

土样编号	1	2	3	4	5	6
有机质含量/(g·kg ⁻¹)	5.3	4.9	5.6	8.3	10.4	6.4

将经过一般绿肥套种模式的 2004 年数据(表 1)与原始土样数据比较, 计算得

$$F = 2.078$$

在 $\alpha = 0.05$ 的标准下, $F_{\frac{\alpha}{2}}(19, 5) = 2.74$, 可以认为 2004 年土样与原始土样有机质含量的方差无显著性差异, 即方差相同。计算均值检验统计量得

$$t = 2.790$$

经过查对检验临界值表, 在 $\alpha = 0.05$ 的标准下, $t_{\frac{\alpha}{2}}(24) < 2.492$, 拒绝接受 2004 年土样与原始土样有机质含量的均值相等的假设, 且 2004 年土样有机质含量均值 \geq 原始土样有机质含量均值。即经过绿肥套种模式改良后与不进行绿肥套种模式相比, 土壤有机质含量发生了本质变化, 土壤有机质显著提高。

2.3 增施沼肥的绿肥套种模式对土壤改良效果分析

利用沼气工程提供的沼肥是进一步改良土壤的一种有效途径, 为此研究了一般绿肥套种模式与增施沼肥模式, 两者对土壤有机质含量提高的差异性。从 2003 年起, 在基地进行一般绿肥套种对土壤的改良和在绿肥套种的基础上, 增施沼肥进行土壤改良的对比试验, 2004 年 10 月对实施 2 种不同模式的果园土壤, 利用随机抽样方法, 各抽取 6 个土样, 测得土壤的有机质含量如表 4 所示。

首先计算方差检验统计量 F , 计算得到

$$F = 2.434$$

在 $\alpha = 0.05$ 的标准下, $F_{\frac{\alpha}{2}}(5, 5) > 5.05$, 可以认为 2 种模式土样有机质含量的方差无显著性差异, 即方差相同, $t = 3.136$ 。

经查对检验临界值表, 在 $\alpha = 0.05$ 的标准下, $t_{2\alpha} < 2.764$, 拒绝接受 2 种模式土样有机质含量的均值相等的假设, 且经过施用沼肥的绿肥套种模式的土壤有机质含量显著高于不施用沼肥的一般绿肥套种模式的土壤有机质含量。即经过沼肥绿肥套种模式改良与一般不施用沼肥的绿肥套种模式相比, 土壤有机质含量发生了本质的变化, 土壤有机质显著提高。

表 4 两种模式土样有机质含量 g/kg

不施沼肥的绿肥套种模式 土样有机质含量	增施沼肥的绿肥套种模式 土样有机质含量
9.8	14.0
7.8	12.8
11.4	13.9
8.5	12.6
11.1	11.2
11.7	13.8

3 结 论

通过对土壤有机质含量的统计分析可以看出, 经过不施用沼肥的一般绿肥套种模式的实施, 与原果园的原始土壤相比, 土壤的有机质含量得到了显著的提高; 而在一般绿肥套种模式的基础上, 增加施用沼肥, 经过一年的时间, 从统计分析结果显示, 增施沼肥的绿肥套种模式与不施用沼肥的绿肥套种模式相比, 土壤有机质含量又得到了显著的提高。

这充分说明, 沼肥的施用, 对果园土壤有机质含量的提高具有十分显著的促进作用, 可以在相对较短的时间, 较大幅度地改善红壤低丘果园土壤有效营养成分, 提高土壤有机质含量。

因此, 在红壤低丘山地采取以沼气工程为纽带的生态果业开发是提高红壤低丘山地综合生产能力的有效途径。

[参 考 文 献]

- [1] 黄强, 魏际新, 吴锦艳. 江西红壤丘陵区发展持续农业的对策[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 1999, 23(1): 84—89.
- [2] 涂国平, 贾仁安. 水土保持型生态果业模式结构功能分析[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 29—31.
- [3] 陆璇. 应用统计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. 41—44.
- [4] 王学仁, 王松桂. 实用多元统计分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990. 157—164.