

## 红壤丘陵区生态农业模式研究

王明珠 尹瑞龄

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 根据不同坡位上红壤的理化性质分异,建议在红壤丘陵上推行“顶林、腰园、谷农、塘渔”生态农业模式,并在塘边建造猪场,以养猪为纽带,实行种养结合,建立饲草-猪-沼、菇-果、粮-鱼、珍珠的食物链,再定量调控种养结合链环的饲料配置、粪尿投放、制沼育菇和塘泥返田,以提高系统生产力,达到农业可持续发展。

关键词: 红壤, 生态农业, 模式。

STUDY ON ECOLOGICAL AGRICULTURE PATTERNS  
IN HILLY RED SOIL REGION

Wang Mingzhu Yin Ruiling

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008, China)

**Abstract** An ecological agriculture pattern; forests (at hilltop)-tea and fruit gardens (at hillside)-cropping (in valley)-fishery (in pond) is suggested to be popularized on the hilly red soil regions. This pattern should be adjusted according to the difference of physical and chemical characters of the red soils at different slope positions. Pig farm is built by ponds and a food chain, which consists of grass (forage)-hog (dung)-marsh gas, mushroom-fruit, (crops)-fish (pearl), is formed. On this basic, food is compounded, dung is put into the ponds, marsh gas and mushroom is produced and pond silt is dug back to the field. All these were quantitatively managed for increasing systematic productivity and agriculture sustainable development.

**Key words:** red soil, ecological agriculture, pattern.

我国红壤占地面积约为61.8万 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>,是适宜农林牧,发展种、养殖业最有前途的土壤资源之一。但由于过去传统型的“沟谷型”农业和重田轻丘的偏向,红壤丘陵多为马尾松疏林(*Pinus massoniana*)草坡(刺野古草 *Arundinella setosa*、金茅 *Eulalia* sp. nov.、珠芽画眉草 *Eragrostis bulbifera*、白茅 *Imperata cylindrica* var. *major* 等),荒丘与侵蚀面积各占红壤总面积的1/4和1/3。

多年来,作者在位于江西省余江县刘家站的中国科学院红壤生态站内,就南方红壤丘陵区的农业可持续发展问题进行了深入的研究。认为推行生态农业模式;重视种养结合及多层利用;提高多层利用各环节的效益是保证该地农业可持续发展的主要途径。

\* 本文为国家“八五”攻关项目,“赣东北低丘红壤综合治理和农业持续发展研究”的部分内容。

收稿日期:1996-06-25,修改稿收到日期:1997-05-10。

1 生态农业模式

1.1 红壤不同坡位的土壤性质分异是推行生态农业模式的主要依据

红壤丘陵从顶部到坡麓,依其水土运移特点,常分为流失段(丘顶)、过渡段(腰坡)和积累段(坡麓)3个坡段,水、热、气、肥诸性质均有分异。据中国科学院红壤站复合生态区(下称试区)调查,第四纪红粘土覆盖于白垩纪红砂岩上(坡度3~5°,相对高差15~20m),红壤积累段与流失段相比,土层厚度增加1.15m以上;表土有机质含量高2~4g/kg;季节性土温在0cm处,低1.1~4.3℃;20cm处,春夏季低2.2~2.3℃,秋冬季低10.4~10.9℃;土壤水势,在30cm处,下降5.2~12.6kpa;80cm处,下降2.6~5.1kpa。心土层(80cm)与表土层(30cm)之差9.1~29.4kpa,尤其在夏季,水势差高达20kpa以上(表1)。

表1 中国科学院红壤站不同坡位的红壤理化性质差异\*

Table 1 difference of physical and chemical characteristics of red soil at different slope position

坡段位 Slope position	丘顶(流失段)Hilltop	腰坡(过度段)Hillside	坡麓(积累段)Valley
土壤类型 Soil type	准红壤 Para-red soil	普通红壤 Haplic red soil	潮红壤 Aquic red soil
土壤厚度 Soil horizon thickness(cm)	<85	150	>200
土深 Soil depth(cm)	30	80	80
土壤水势 Soil water potential (kpa)			
春3~5月 Spring Mar.~May	21.5	9.8	18.8
夏6~8月 Summer Jun.~Aug.	50.3	20.9	45.7
秋9~11月 Autumn Sep.~Nov.	35.5	23.4	32.5
土深 Soil depth(cm)	0	20	0
春3~5月 Spring Mar.~May	19.6	11.6	19.5
夏6~8月 Summer Jun.~Aug.	34.5	19.0	31.8
秋9~11月 Autumn Sep.~Nov.	23.2	31.0	21.9
冬12~2月 Winter Dec.~Feb.	10.2	22.4	9.4
采土深度 Sampling depth(cm)	0~20	20~40	0~20
质地(中国制) Soil texture	砾质壤 Gravelly loam	粘壤 Clayey loam	粘壤 Clayey loam
pH (H <sub>2</sub> O)	4.91	5.27	5.02
(KCl)	3.99	4.03	4.04
有机质 Organic matter(g/kg)	11.60	6.04	13.50
全氮 Total N(g/kg)	0.558	0.380	0.684
全磷 Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	0.68	—	0.70
全钾 Total K <sub>2</sub> O(g/kg)	12.15	—	12.29
水解氮 Hydrolyzable N(mg/kg)	180	220	600
有效磷 Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	6.8	0.76	11.6
有效钾 Available K <sub>2</sub> O(mg/kg)	88	57	76
交换量 Exchange capacity(cmol/kg)	13.02	13.61	11.84

\* 有机质:硫酸-重铬酸钾容量法;全氮:硫酸消化-重铬酸钾法;全磷:碳酸钠碱熔-钼锑抗比色法;全钾:火焰光度法;水解氮:碱解蒸馏法;有效磷:氢氧化钠-草酸钠法;有效钾:硝酸提取-火焰光度法;交换量:EDTA-醋酸铵法。

\* Organic matter: K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> capacity method; Total N: K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> distillation method; Total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> alkali fusion-Mo-Sb-Ascorbic acid colorimetric method; Total K: flame photometry; Hydrolyzable N: alkali fusion distillation method; Available P: NaOH-Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> method; Available K: HNO<sub>3</sub> extraction flame-photometry; C. E. C EDTA-NH<sub>4</sub>OAc method.

1.2 顶林-腰园-谷农-塘渔是生态农业的主要模式

红壤丘陵的丘顶,土层薄、旱、瘦,宜种根系分布深、抗逆性强,保水土的多年生湿地松、桉树、胡枝子等林灌草;坡麓土壤相对厚、肥、润,雨季常受测渗浅层水影响,主要种植水稻或耗水多的蔬菜和饲料,坡腰介于两者之间,适宜发展能吸收心土层水分,经济、生态效益较好的柑桔、板栗等果、茶、桑园;丘间塘库则可放养鱼和珍珠,从而构成了“顶林、腰园、谷农、塘渔”的立体种植模式<sup>[2]</sup>。其中林、园、农三者比例因丘陵坡度和高差而异,一般坡度5~10°、高差15~50m者以3:3:4为宜,平缓者以2:3(4):5(4)为好,峻陡者以5(4):3(4):(2)为妥。

在试区林、园内,利用时空差进行结构配置<sup>[3]</sup>。表2表明,丘顶马尾松疏林混交木荷、桉树(2);套种胡枝子、狗牙根(3),生物量均比对照(1)提高1.5~4.1倍;覆被率增加9%~42%,水土流失量减少1/2~1/3;径流系数降低0.11~0.20。腰坡桃园初期间套花生,3a后更换为绞股兰、草莓,比单作增加有效水3~9g/kg,有机质0.04~0.12g/kg;效益提高37.0%~67.4%。

表2 丘顶林地的立体结构配置比较\*

Table 2 Compare of several trees arrangement at hilltop forest land

树种配置 Trees arrangement	覆盖率(%) Cover -degree	生物量 Biomass (kg/hm <sup>2</sup> )	流失量 Loss (kg/hm <sup>2</sup> )	径流系数 Runo- ff coef.	水分 Water(g/kg)			养分 Nutrient(g/kg)		
					30kpa 含水 Holding	有效水 Available	有机质 O. M.	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
1 针叶林 Pine	48.0	3706.5	1350	0.30	246	61	9.80	0.57	0.63	13.80
2 针阔混交 Pine-broad leaf mixed	57.1	9220.5	630	0.19	265	86	11.80	0.60	0.68	16.50
3 乔灌草 Tree-shrub-grass	90.0	18906.8	490	0.10	307	92	11.51	0.63	1.18	14.33

\* 生物量:1987~1996年平均;其它项目:1993~1994年平均,针叶林是马尾松,针阔混交林是马尾松、木荷、桉树,乔灌草是马尾松、胡枝子和狗牙根等。

\* Biomass: mean 1987~1996; Other items, Masson pine; Pine-broad leaf mixed Masson pine, Schima, Eucalyprus, Tree-shrub-grass; Masson pine, Lespedeza and grass.

2 重视种养结合及多层利用

与试区推行生态农业模式的同时,塘边建猪场,形成种养结合、多层利用的食物链<sup>[4]</sup>,即林草枝叶、青饲料、配合饲料喂猪→猪粪尿育菇、制沼→沼肥、菇渣入塘养鱼、育珍珠→塘淤返田、培肥塘基与集水基面(图1),使塘库与其周围红壤的集流面各部分,联系成农业利用意义上的有机整体,进一步提高红壤区的整体开发效益。

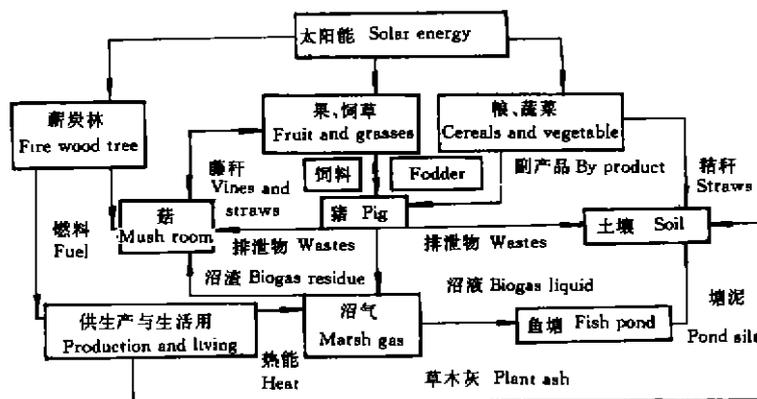


图1 种养结合、多层利用的链式循环

Fig. 1 The chain recycle of the combination of planting and feeding

### 3 提高多层利用各环节的效益

食物链种养结合部常出现物流能流失调、阻滞、内耗与浪费等现象。因而,必须对其实行调控,重点在于饲料配置、粪尿投放、制菇育苗和塘淤返田等几个方面的调控,力求增产增效。

#### 3.1 饲料配置

猪场多以配合饲料喂养瘦肉型猪,但饲料的不同配比直接影响饲料能的转化效率和经济效益。从能量转化角度看,饲料总能中的消化能越高,能量转化率也高。通常将猪的耗用饲料量与猪的毛重之比(即饲料系数)作为表示能量转化率的指标。由表3可见,猪从小到大,饲料系数增大、消化能比总能渐小;意味着能量转化率下降,但日饲量增多,日增重加快,粗料比重加大使产投比升高。从经济效益角度看,长期配合饲料喂养,成本较高,表4在配合饲料中加30%青料,结果瘦肉率均为57.1%,日增重减少0.019kg/头,成本却节省0.73元/kg,开支减少25.34%,产投比由1.8增至2.4。

表3 瘦肉型猪的物质能量转化情况

Table 3 Transformation status of substance and energy on lean meat type of pig

猪重 Pig weight (kg)	日饲量 Fodder per day (kg)	日增重 Increase per day (kg)	饲料系数 Fodder coefficient	饲料 /猪粪 Fodder/ Dung	产量 /投入 Yield/ Put into	增重1kg需要(MJ)			消化能 /总能 Digestive/ Total
						总能 Total	消化能 Digestive	粗蛋白 Protein	
20~35	1.58	0.63	2.51	3.33	1.5	42.62	40.02	0.41	93.9
35~60	2.29	0.65	3.52	2.78	1.8	47.52	41.33	0.59	87.0
60~90	2.95	0.70	4.21	2.63	1.9	54.05	44.13	0.65	81.6
20~90	2.34	0.66	3.55	2.78	1.8	51.67	43.85	0.59	84.8

表4 配合饲料加青饲料育猪试验(1993-06-08~1993-08-14)

Table 4 Experiment of feeding pig using green fooder added to compound fodder

组别 Groups	每组 头数 No. per group	试验天数 Experi- ment days	试前均重 Before experi. kg/头 <sup>1)</sup>	试后均重 After experi. kg/头 <sup>1)</sup>	净增重 <sup>1)</sup> Net increase kg/头	日增重 <sup>1)</sup> Increase per day kg/头	投料 <sup>1)</sup> 配合料 Compound kg/头	青料 Green kg/头	饲料 系数 Fodder coeffi.	增重成本 元/kg inc. yuan/kg
试验组 Experimental	7	67	29.78	73.43	43.65	0.651	135.2	42.4	3.18	2.15
对照组 Control	7	67	29.74	74.71	44.97	0.670	141.3	—	3.14	2.88

1) 单位: kg/头; the unit: kg/pig.

#### 3.2 粪尿投放

由图2可见,试区塘库投放粪尿后,在鱼单产 $<650\text{kg}/\text{hm}^2$ 的1989年以前,产量与粪尿投放量呈正相关。这是随着粪尿投放量增多,水体透明度降低,浮游植物增加,初级生物量也逐年递增(图3),促进以浮游植物为生的肥水鱼(鲢、鳙鱼)生长加快。但1990年粪尿投放量高达 $499.5\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{d}$ 以后,产量并没有相应递增。相反,投放未发酵的粪尿过多<sup>[3]</sup>,水中氨浓度高达 $16.58\text{mg}/\text{l}$ ,非离子氨含量达 $0.14\text{mg}/\text{l}$ ,分别超过规定安全浓度的25%和1.8倍,导致肥水鱼盛夏烂鳃、肠炎、窒息,死亡率达12%。1991~1993年通过水质动态和鱼产量相关分析,确定该区塘库的畜禽粪便负荷临界值为 $320\text{kg}/\text{hm}^2\cdot\text{d}$ ,即每公顷水面(平均水体1.2~1.5m深)不得超过存栏肉猪65头的粪尿投放量,多余粪尿则应分流入园入田。1994年改粪尿周年投放为鱼的生长期(4~11月)投放,尽管粪尿投放量减少1/3,鱼产量仅减少10.6%,产投比从2.5提高至3.0。1995年干塘时改竭泽而渔为捕大放小( $<0.5\text{kg}$  鲢、鳙鱼禁捕),加施以磷酸钠钙盐为主要成分的特灵( $800\text{kg}/\text{hm}^2$ )以补磷增钙,使水体初级生产力增至 $7\sim 9\text{gO}_2/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ,1996年鱼单产创历史最高水平,比高产的1992年增加47.3%。

#### 3.3 制沼育菇

沼气生物能转化受物料组成、配比、温度等多因素影响。粪尿与草不同配比的5次产气试验表明,粪、草

3:1产气率最佳;平均3kg猪粪与1kg草料产气0.157m<sup>3</sup>。其沼气热值以2299kJ/m<sup>3</sup>计,热系数0.6,实际热效益为1380kJ/m<sup>3</sup>。大致相当于直接燃烧的草料、猪粪。只是沼肥保存了草、粪的大部分养分元素,若以粪尿和沼渣液比同样计,沼液中有有机碳、氮、磷、钾的含量分别相当于猪粪尿的45%;48%;20%;77%(表5)。可见沼气利用了有机物能量,降低了草料C/N比,促进养分无机化。

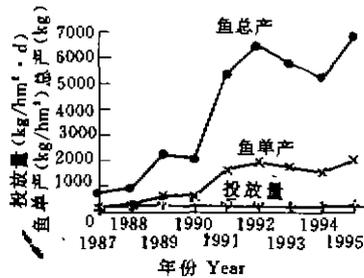


图2 粪尿投放量和鱼产量变化

Fig. 2 Throwing pig manure and change of fish output

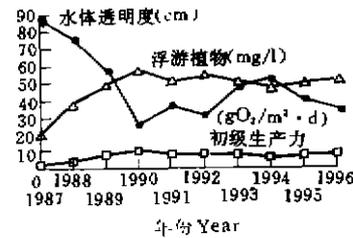


图3 1987~1996年间7月的3因素变化

Fig. 3 3 factors change July 1987~1996

表5 猪粪、沼肥养分含量

Table 5 Nutrient content of dung & biogas liquid and residue

项目 Item	有机质 O. M.	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	水解氮 Hydro N	有效磷 Avail. P	C/N
	g/kg				mg/kg		
肉猪粪 Dung	大猪 Big 60~90kg	614.4	19.5	36.0	5.9	—	18.3
粪尿比 Dung/Urine 1.5:8.5	小猪 Small 20~35kg	663.5	25.7	21.6	9.1	—	15.0
	平均 Mean	639.0	22.6	28.8	7.5	—	16.6
沼渣液 渣液比 Residue/Liquid 1:30	沼液 Liquid	37.4	1.56	0.98	0.81	—	13.9
	沼渣 Residue	548.9	17.40	4.21	9.90	108.5	0.25
	平均 Mean	53.9	2.07	1.09	1.10	—	15.1

灌、草、秸藤秆栽培试验表明:生料栽培高于熟料栽培。就不同料产出率而言,生料以豆科花生藤最高,达93.6%~97.6%;禾本科青草最低,仅76.0%~78.4%。熟料以豆科植物高于禾本科植物;平菇以低温型的“西德33号”高于中温型的“亚光1号”(表6)。可见沼液添加物料栽培以生料豆科最佳。

### 3.4 塘淤返田

粪尿入塘的养分,除部分挥发和渗漏损失外,主要分布在鱼、水体和淤积物中。从表7可以看出,淤积物聚积了粪尿中的13.8%氮;20.6%磷;72.3%钾,说明塘库底部已成了能量和营养物质的“陷阱”。这不仅阻碍养分转化利用,而且极易引起鱼病和泛塘。淤积物包括集水基面流失物,粪肥和流水带入的悬浮物等。试区塘库1958年修建以来,底面已淤积155cm厚,平均3.97cm/a。由表8可见,塘库上游至下游,年淤积量由53.7kg/m<sup>2</sup>减至37.6kg/m<sup>2</sup>;但淤泥养分含量却逐渐递增,尤以钾更明显。所以,淤泥返田,从养分而言,应先清下游;从清淤而言,上中游清淤量比下游增加1/3。清淤后,既可增加水体空间、改善容氧条件,又能增进基面肥力、提高果、粮、饲草生物量。试验表明:冬季亩施百担塘淤,翌年黑麦草增产52.2%,白三叶增产30.8%。

据水质变化定位监测,水体营养状态变化甚速。在投粪接近负荷临界值条件下,贫养状态当年即起转化;第2年建立稳定的生物物质循环;第3年进入富营养状态;第4~5年则应清淤返田,降低养分水平,使鱼塘养分变化模型呈马鞍形。这里关键是计算塘库养分的输入与输出,以确定投粪与取淤时间的最佳平衡。

表6 各种生熟料对平菇产量的影响(kg/100kg)

Table 6 Yield of planting mushroom by several substances

菌种名 Strains		凤尾菇 Feng wei gu				001			
采收次数 Sampling No.		1	2	3	合计 Total	1	2	3	合计 Total
生料 Raw matter	稻草 Straw	52.8	27.2	4.8	84.8	39.2	28.8	21.6	89.6
	禾本科青草 Green grass	62.4	10.4	3.2	76.0	57.6	16.0	4.8	78.4
	薯藤 Sweet potato vine	42.4	32.0	8.8	83.2	40.8	25.6	20.0	86.4
	花生藤 Pea nut vine	40.8	32.0	20.8	93.6	41.6	32.0	24.0	97.6
菌种名		亚光1号 Ya guang 1				西德33 Xi de 33			
采收次数 Sampling No.		1	2	3	合计 Total	1	2	3	合计 Total
熟料 Steri- lizing matter	胡枝子 Lespedeza	42.9	6.9	0	49.8	37.7	17.7	10.3	65.9
	印度豇豆 India cowpea	40.0	8.5	0	48.5	36.9	24.6	5.4	66.9
	花生藤 Pea nut vine	36.0	6.8	0	42.8	33.7	9.1	5.7	48.5
	稻草 Straw	21.4	7.1	0	28.5	22.1	7.9	2.9	32.9
	禾本科青草 Green grass	24.7	10.6	0	35.3	24.7	12.4	2.9	40.0

表7 粪尿养分在各部分中的分布(以投放量320kg/hm<sup>2</sup>.d,1994.4~11)Table 7 Nutrient distribution after putting dung into pond(count by 320 kg/hm<sup>2</sup>.d,1994.4~11)

项目 Item	氮(N)		磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		钾(K <sub>2</sub> O)	
	含量 g	Content(%)	含量 g	Content(%)	含量 g	Content(%)
输入 Input	7232.0	100.0	9216.0	100.0	2400.0	100.0
输入 Output 鱼 Fish	1005.3	13.9	2359.3	25.6	67.2	2.8
淤积物 Silt	998.0	13.8	1898.5	20.6	1735.2	72.3
水体 Water body	5228.7	72.3	4958.2	53.8	597.6	24.9

表8 塘泥淤积量及其养分含量(1994年12月采样,烘干重)

Table 8 Deposition quantity of silt and its nutrient content(sampling 1994.12)

采样位置 Sampling position	淤积量 Silt up quantity (kg/m <sup>2</sup> )	采土深度 Sampling depth(cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	全 N (KCl)	全 P Total (Ng/kg)	全 K Total P (g/kg)	速 P Total K (mg/kg)	速 K Avail. P (mg/kg)
上游 Upper reaches	53.7	0~20	6.49	4.68	0.93	1.08	9.81	23.90
中游 Middle reaches	52.4	0~20	6.40	4.64	1.02	1.11	11.61	19.60
下游 Lower reaches	37.6	0~20	5.98	4.20	1.19	1.41	13.82	26.21
平均 Mean	49.9	0~20	6.33	4.57	1.02	1.16	11.75	23.24

## 参 考 文 献

- 1 红黄壤利用改良区划协作组. 中国红黄壤地区土壤利用改良区划. 北京: 农业出版社, 1985
- 2 王明珠等. 江西低丘红壤开发模式的优化和应用. 中国红黄壤地区农业综合发展与对策. 北京: 中国农业科学出版社, 1995. 312~319
- 3 Rod MacRae. Biological agriculture and horticulture. 1992, 6(1): 8~19
- 4 Wu Shanmei. Ecological agriculture within a densely populated area in China. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 1989, 27, 597~607
- 5 丁介一等. 新鲜猪粪与厌氧发酵猪粪养鱼效果的对比试验. 水产养殖, 1986, 1: 6~9