

留民营生态农业系统的结构与能量流和生态效率的计算

卞有生 徐汝梅

(北京生态工程中心)

留民营生态农业系统是一个包括农、林、牧、副、渔各业生产的社会经济-自然复合生态系统。在该系统中,既要发展生产,全面提高农民的生活质量,并为城市提供丰富的农副产品,又要保护生态环境,避免生产发展带来的污染与生态环境的破坏,达到经济效益、环境效益与社会效益的统一。因此,对系统的结构、能量流及生态效率进行分析研究,对于如何充分、合理地利用自然资源、发展生产与保护生态环境,具有重要意义。

一、系统结构

留民营生态农业系统,以其自然地域范围为系统边界,整个系统占地 2373 亩,耕地 1957 亩,是一个以人类活动为中心的、自然

与人工的复合系统。其组成包括生命系统(如作物、林木、家禽、家畜、水生生物以及以此为生而又在系统中起主导作用的人群等)及非生命系统(如大气、水、土壤等)。系统的外界环境则为影响系统并与系统成分相互作用的各主要气候因子。

留民营生态农业系统,作为一个人工生态系统,还包括饲料加工厂、豆制品厂、沼气池等单元,整个系统主要包括下列 5 个部分:

1. 初级生产者子系统

包括水稻、小麦、大麦、青贮作物、棉花、蔬菜、油菜、果木、蘑菇等 9 个亚子系统。

2. 初级消费者子系统

包括奶牛、肉牛、鸡、兔、猪、马、鱼等 7 个亚子系统。

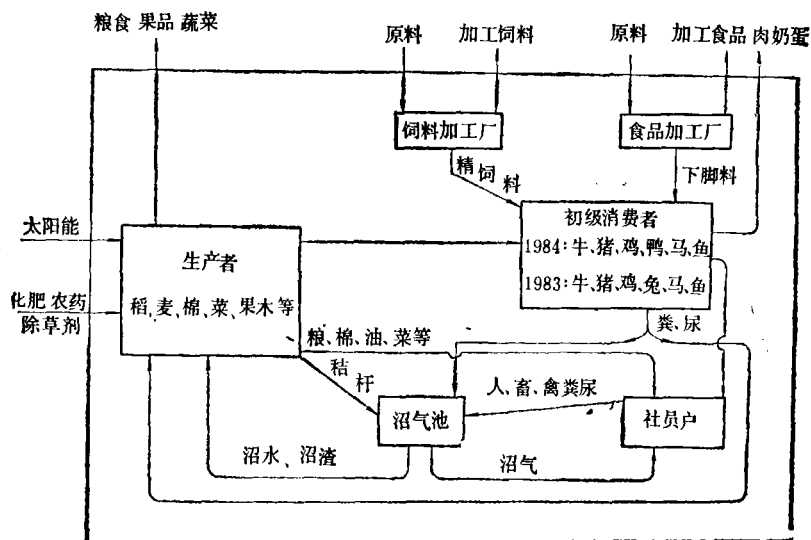


图1 留民营生态农业系统结构简图

池塘作为一种水生生态系统,和陆地生态系统有很大的不同.它本身也包括了生态系统的各个营养层次,是一个完整的生态系统.但在本研究中,暂做为黑箱处理,首先注目的是该系统的输入(初级生产产物)和输出(鱼),因而将其暂放在初级消费者子系统中,初级消费者还应包括以作物和林木为食的害虫、害鼠等.害虫的天敌、蜘蛛类和益鸟等,则构成了次级消费者子系统,为简化分析,本研究中暂未列入.

3. 饲料加工厂
4. 豆制品加工厂
5. 沼气池

整个系统的结构如图 1 所示.为使图示清晰,图中只列出了最主要的输入、输出和能流物流.有些项目和能流物流简略了,有些合并了.各子系统间的能流、物流情况如图 2 所示.

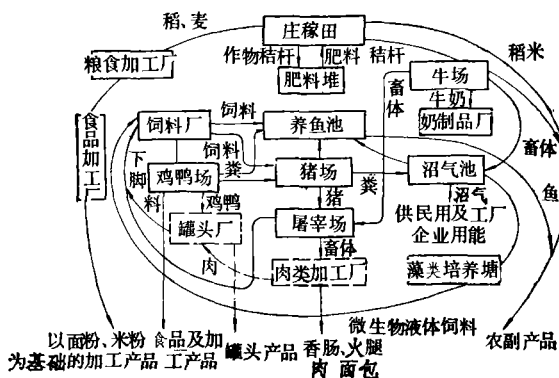


图2 留民营生态农业系统各子系统间能流物流示意图

二、系统的能量流计算分析

1. 初级生产力的输入与输出

初级生产力的输入包括太阳输入能、根系输入能、人力输入、畜力输入、机械能输入、燃料油、电力、有机肥(粪便与沼气渣水)、无机肥、农药、种子等的能量输入.

输出包括粮食产品、秸杆(糠、菜等)、蔬

菜、果品、油料、棉花等能量输出.

输入及输出能量的种类及数量分别逐项测定,而计算方法各异.如输入能中太阳能的计算:北京地区年辐射总量为 134.5 kcal/cm^2 ,即 $134.5 \times 4.1840 \times 10^3 \text{ J/cm}^2$,每年3—11月为 $113.8 \times 4.1840 \times 10^3 \text{ J/cm}^2$,再乘以耕地面积,得出 $14847.8490 \times 4.1840 \times 10^{11} \text{ J}$.根系输入能的计算方法参照文献[1],即根系输入能=地上产出部分 $\times 0.4 = 97.0036 \times 0.4 \times 4.1840 \times 10^{11} = 38.8014 \times 4.1840 \times 10^{11} \text{ J}$.各项计算结果列于图3.若按其生产物的用途和性质,可分为经济能量流(指产品为商品所含的能量,如粮食等)和非经济能量流(指非商品物质的能量,如秸杆、粪便等),列于表1.其中经济能量流占54.17%,非经济能量流占45.83%.

2. 次级生产力的能量输入和输出

本研究中只考虑初级消费者(草食动

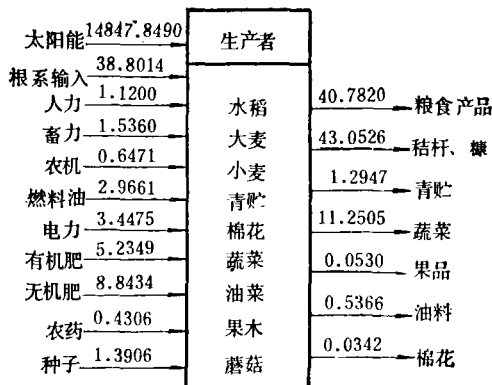


图3 初级生产力能量输入和输出

单位: $\times 4.1840 \times 10^{11} \text{ J}$.

总输入: 64.4176

总输出: 97.0036

能量产(出)投(入)比: 1.51

物),而暂不考虑次级消费者如肉食动物和食碎屑者.

作为一个人控的农业生态系统,初级消费者的重点亦仅放在家禽、家畜等.但作为一个完整的生态系统分析则应包括其他部分.

表 1 初级生产产品的能量分类

(单位: $\times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$)

系统名称 \ 能量类别	经济能流	非经济能流	总 能 流
水 稻	32.4837	26.4755	58.9493
小 麦	6.8858	11.2959	18.1817
大 麦	1.4225	3.0707	4.4952
青 贮	—	1.2722	1.2722
棉 花	0.0342	0.5598	0.5940
蔬 菜	11.2597	—	11.2497
油 菜	0.4268	1.7810	2.2078
果 木	0.0530	—	0.0530
蘑 菇	0.0008	—	0.0008
总 计	52.5466	44.4571	97.0037

初级消费者的能量输入主要为饲料,其中又分为粮食制品和其他饲料如秸秆、树叶等,如本文上述的初级消费者分为七个亚子系统进行讨论。每个亚子系统的能量输入,经测定计算,结果列于表 2。

初级消费者的能量输出主要表现为产品和粪便两部分,经测定计算,结果列于表 2。

次级生产力的总输入为 $27.2681 \times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$, 总输出为 $4.4487 \times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$, 若按能量类别划分,则可用图 4 表示。

3. 沼气池子系统的能量输入与输出

沼气池在系统的物质循环和生物能的利

表 2 初级消费者的能量输入与输出(单位: $\times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$)

项 目 系 统	输 入					输 出				
	粮 食		秸秆或其它		总 量	产 品		粪便或其它		总 量
	数 量	%	数 量	%		数 量	%	数 量	%	
奶牛	0.0878	38	0.1430	62	0.2308	0.0853	52	0.0781	48	0.1634
鸡	1.2450	68	0.5979	32	1.8429	0.2938	70	0.1289	30	0.4227
兔	0.0101	19	0.0434	81	0.0535	0.0153	58	0.0133	42	0.0286
菜牛	3.9664	23	13.3319	77	17.2983	0.1352	8	1.6279	92	1.7631
猪	1.2417	43	1.6158	57	2.8575	0.5900	38	0.9633	62	1.5533
马	1.3213	27	3.5445	73	4.8658	1.5360	51	0.9920	39	2.5280
鱼*	0.0128	11	0.1005	89	0.1332	0.0276	100	—	—	0.0276
总计										

* 鱼的粪便留于塘内,未计算输出

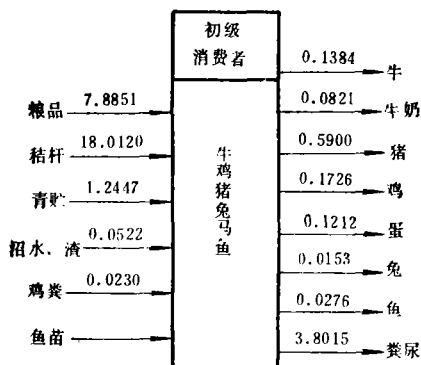


图 4 初级消费者子系统的能量输入和输出

单位: $\times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$

总输入: $27.2681 \times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$

总输出: $4.9487 \times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$

能量产(出)投(入)比: 0.18

用上起着很大作用,它接受初级消费者及农民户的排泄物,以及初级生产者的不可直接利用的部分(如秸秆),经过微生物的作用,一方面提供优质有机肥料供系统再生产,一方面为农民提供能源,又净化了环境。

留民营生态农业系统内共有 $8-10 \text{m}^3$ 的家用沼气池 158 个,其能量的输入与输出情况列于图 5。

4. 留民营生态系统的能量流分析

对生产者,其输入包括两部分,即自然输入能和人工辅助投能。自然输入能包括太阳能流密度 $14847.890 (\times 4.1840 \times 10^{11} \text{焦耳})$, 下称“单位”)和根系输入能流密度 38.8014

“单位”。人工辅助能又包括无机能流密度和有机能流密度两大部分。前者为系统外部输入,总计 16.3331 “单位”,后者总计为 31.4941 “单位”(其中包括返回田间的秸秆能流密度 22.4834 “单位”),两部分共 47.8287 “单位”。

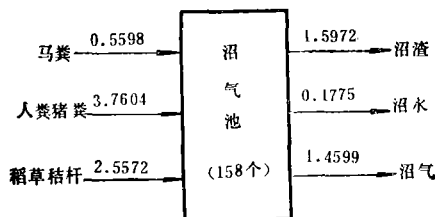


图 5 沼气池能量输入和输出情况

单位: $\times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$

总输入: $6.8774 \times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$

总输出: $3.2346 \times 4.1840 \times 10^{11} \text{J}$

产出投入比: 0.4703

初级生产的产物共 97.0037 “单位”,其中 27.1919 “单位”做为饲料用于初级消费者。另外 67.2546 “单位”的产物有一部分做为商品流出系统 (44.7712 “单位”), 秸秆还田 22.4834 “单位”,其余进入沼气池。

输入初级消费者系统的 27.1919 “单位”,经转化,做为次级生产力的产品,包括畜产品 1.1472 “单位”; 畜力 1.5360 “单位”,粪便 3.8015 “单位”。鸡粪用于养鱼(及猪)又返回初级消费者子系统。其它粪便则进入沼气池

(0.5598 “单位”) 和还田 (3.2417 “单位”)。

部分秸秆 (2.5572 “单位”), 人粪尿及农民自养猪的尿粪 (3.7604 “单位”), 牲畜粪便 (0.5598 “单位”) 进入沼气池。

沼气池产生的沼气 (1.4599 “单位”) 供农民使用, 沼气渣、水用于养鱼或还田。

根据以上结果, 系统的能量流及分析绘于图 6。

从不同的营养水平及食物链的关系来看, 留民营生态系统的能量流则可进一步图解, 示于图 7。

净初级生产量 (PN), 作为农作物的全部生长量, 其中被昆虫吃掉的部分, 作为商品出售的部分, 还田的部分, 进入沼气池的部分, 以及做为饲料可供次级生产者食用的部分, 也可称为“可利用食物”, 总计为 27.1919 “单位”。

可利用食物并非都可被次级生产者食入, 其中一部分损失掉, 称为未利用食物 (NU), 约占 20%, 即 5.4384 “单位”。另一部分为草食动物所吃掉, 即消耗量 C, 大约占 80%, 即约 21.7535 “单位”。

被摄入的食物(即消耗量 C), 大部分被同化, 而其余的做为粪尿排出, 为方便计算, 通常将排尿中所含能量与粪便中所含能量合在一起, 称为粪尿量 (FU), 在此约为 3.8015 “单位”。

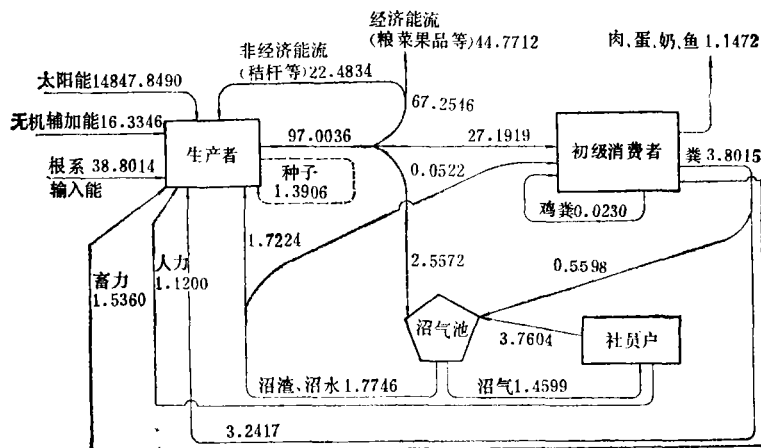


图 6 留民营生态农业系统的能量流

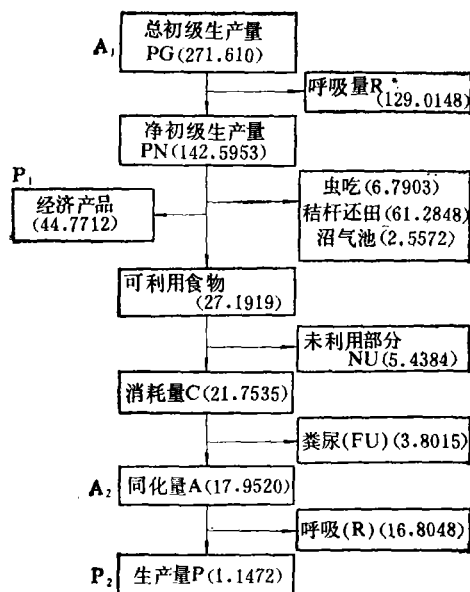


图7 留民营生态农业系统的能量流图解

由此可以计算得同化量 A ：

$$A = 17.9520 \text{ “单位”}$$

被草食动物所同化的能量，其中一部分用于维持机体的生命活动，称为 R ，另一部分为生产量 P ，已知 $P = 1.1472$ “单位”，故可计算得

$$R = 16.8048 \text{ “单位”}$$

图7是能量沿着食物链流动、变化的简况，表达了一年在留民营生态系统范围内1957亩耕地上所发生的能量流动情况。

根据以上分析和数据，即可进行留民营生态系统的生态效率计算。

三、留民营生态农业系统的生态效率计算分析

1. 初级生产的能量转换效率

(1) 光能利用率, E

这是反映作物将太阳能转化为生物能的指标，也是衡量初级生产力生态效率最重要的指标。它等于单位面积上作物积累的总能量与同期投入该面积上的太阳辐射能之比。

1983年全部耕地总产出为97.0037“单位”，总辐射能为14847.85“单位”，所以：

$$E = \frac{97.0037}{14847.85} \times 100\% = 0.65\%$$

若以粮食生产计算，总产出87.3317“单位”，总辐射能12475.9571“单位”，所以

$$E_0 = \frac{87.3317}{12475.9571} \times 100\% = 0.7\%$$

并进而计算得全部耕地的经济光能利用率为0.35%，粮食耕地作物的经济光能利用率为0.38%。

(2) 能量产出投入比, R

可以有下列几种不同表示方法：

① 以总人工辅助能为分母，经济能流密度为分子：

$$R_1 = 52.5466 \text{ “单位”} / 47.8287 \text{ “单位”} \\ = 1.0986$$

② 以总人工辅助能为分母，地上产出能流密度为分子：

$$R_2 = 97.0037 \text{ “单位”} / 48.8287 \text{ “单位”} \\ = 2.0281$$

③ 以无机能流密度为分母，经济能流密度为分子：

$$R_3 = 52.5466 \text{ “单位”} / 16.3346 \text{ “单位”} \\ = 3.2169$$

④ 以无机能流密度为分母，地上产品部分能流密度为分子：

$$R_4 = 97.0037 \text{ “单位”} / 16.3346 \text{ “单位”} \\ = 5.9385$$

2. 初级消费者各子系统的能量输出输入比

初级消费者子系统分为7个亚子系统，其能量的输出输入分别为：

输出：④肉、蛋、奶等；⑤粪便；⑥输出总量⑥=④+⑤

输入：①粮食产品；②秸秆等；③输入总量③=①+②

各亚子系统的输出输入比计算结果列于表3。

* 一般草本植物的净呼吸量等于总初级生产量的45—50%，本文按47.5%计算。

表 3 初级消费者各子系统的能量输出输入比

	输 入	输 出			④/⑥	④/①	④/③	⑥/①	⑥/③
		④肉、奶、蛋等	⑤粪	⑥总量					
奶牛①	0.0878	0.0854	0.0781	0.1635	0.5223	0.9727	0.3700	1.8622	0.7084
②	0.1430								
③	0.2308								
鸡 ①	1.2450	0.2938	0.1289	0.4227	0.6950	0.2360	0.1596	0.3395	0.2296
②	0.5979								
③	1.8407								
兔 ①	0.0101	0.0153	0.0113	0.0266	0.5752	1.5149	0.2860	2.6337	0.4972
②	0.0434								
③	0.0535								
菜牛①	3.9664	0.1352	1.6279	1.7631	0.0767	0.0341	0.0078	0.4445	0.1013
②	13.3319								
③	17.2983								
猪 ①	1.2417	0.5900	0.9653	1.5533	0.3798	0.4752	0.2064	1.2509	0.5436
②	1.6158								
③	2.8575								
马 ①	1.3213	(劳力) 1.5360	0.9920	2.5280	0.6076	1.1625	0.3157	1.9133	0.5195
②	3.5445								
③	4.8658								
鱼 ①	0.0128	0.0276	—	0.0276	—	2.1563	0.2292	—	—
②	0.1076								
③	0.1204								

四、简 要 分 析

根据以上计算结果,可以看出:

1. 在初级生产中,能量的转换效率较高(1.54%),这也是留民营农业生产能够持续高产的重要原因。但组织生长效率(E_g)却属于一般水平($E_g = PN/PG = 52.5\%$)。通常水稻、大麦、小麦的 E_g 在 50—58% 之间,这可能是由于系统中投入的人工辅助能过多的结果。

2. 初级生产的光能利用率偏高(达 0.65%),粮食生产达 0.7%,根据我国的情况,属高产作物范围。由此可见,整个京郊广大平原地区,由于光照充裕,发展种植业是有条件的,应充分利用这一自然优势。在今后的生产发展中,抓饲养业的同时,也不能丢了种植业。

3. 从次级生产来看,总的效率不高,例

如饲料利用率仅达 4.22%,而一般应在 5—20% 之间。从能量的输出输入比来看(参见表 3),猪、鸡、奶牛较好,但肉牛很低。由此可见,传统的少喂或不喂精料,长期“低功率运转”的饲养方法是不对的。应提高效率,缩短存栏时间,例如采用架子牛育肥的办法。

4. 系统能量流的计算表明,人工辅助能的投入产出比为 1,和西方高输入的石油农业相比(美国的能量产投比为 1/10,英国为 1/6,日本为 1/4)^[2],充分显示了生态农业的优越性。因此,开展生物能的利用,对于解决我国农用能源的紧张问题,对于我国农业的发展和农业环境的保护,具有重要的现实意义。

参 考 文 献

- [1] Bray, J. R., *Can. J. Bst*, **41**, 65—72 (1963).
- [2] Worthington, M. K., *Agriculture and Environment*, **6**, 349—381 (1981).

Abstracts

HUANJING KEXUE

Chinese Journal of Environmental Science

Prospects for Environmental Geoscience in China

Chen Jingsheng

In the first part of this article, the author discussed the object, characteristics and scope of environmental geoscience and its relation to other sciences such as total environmental science, geography and ecology. In the second part, the recent advances of environmental geoscience in China have been reviewed in following six aspects: (1) comprehensive investigation on environmental quality of some urban areas, river drainage areas and industrial regions; (2) researches on environmental zoning and environmental planning; (3) researches on geochemical behaviors of pollutants in the environment; (4) studies on environmental causes of endemic diseases; (5) studies on environmental background value; (6) researches on pollution meteorology and environmental soil science. In the third part of the article, the author went to the problems how to develop environmental geoscience in China and how to cooperate with other branches of environmental science in the future.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 4, p 69, 1986

Framework of Ecological Agro-system at Liuminyin Village and Its Energy Flow and Eco-efficiency

Bian Youshen Xu Rumei

The paper gives a general description of energy flow in an ecological agro-system at Liuminyin village, Daxin County of Beijing. By on-the-spot tests, quantitative analysis and calculation of input-output ratio of energy as well as ecological efficiency of some main subsystems have been studied. The results show that the input-output rate of artificial supplementary energy is 1, the energy conversion efficiency of primary production reaches 1.54% and utilization rate of solar energy is 0.65%. All stay at higher rates. However, the ratio of second production is a little lower. The paper also gives a brief analysis of calculation results and a relevant conclusion.

HUANJING KEXUE Vol 7, No.4, p 94, 1986