

农户生态系统定量分析和 演替导向的研究

王天根 王兆骞

(浙江农业大学农业生态研究所, 杭州)

摘 要

文章研究了农户生态系统定量分析和演替导向方法, 对线性规划方法有新的应用和认识, 提出了制约强度、制约幅度、制约作用量的新概念, 并首次用于对农户生态系统管理中的限制因素定量分析, 从而指导农户生态系统的演替, 并取得明显的实践效果。同时, 对线性规划方法在农业生态系统分析中的进一步应用进行了讨论。

关键词: 农户生态系统, 线性规划, 制约作用量, 制约强度, 制约幅度。

就农业生态系统的自然-经济复合系统的特性而言, 农户是农村生态系统中最基本的子系统。它既具有一般宏观农村生态系统的基本特征, 同时又具有自身的特殊性: (1) 调控者、决策者、经营者的统一, 自觉要求系统决策最优化, 决策方案便于实施。(2) 基本结构相对简单, 建立数学模型容易, 分析方便。(3) 系统运行起动快, 惯性小, 演替结果易被实践检测。因此, 研究农户生态系统定量分析和演替导向, 不仅是一般农户生产实践的普遍需要, 而且还能为宏观农业生态系统定量分析和演替提供基本原理和方法。

一、研究内容与方法

1. 研究内容

- (1) 农户生态系统优化演替的导向;
- (2) 农户生态系统演替过程中主要子系统的地位变迁分析及适应对策;
- (3) 引进新物种的可行性分析。

研究过程见《农户生态系统结构优化》^[1]

2. 研究方法

(1) 数学模型的选择: 本研究用线性规划模型描述农户生态系统。用灰色预测模型确定兔毛价格参数, 模型中其它参数根据农户常年的投入产出流水记载资料整理而定。

(2) 农户生态系统中关键制约因子的定量分析: i 制约因子对整个系统制约作用 ΔS_i 的大小决定于它的制约强度和制约幅度。影子价格 SP_i 可定义为: $SP_i = \Delta S_i / \Delta b_i$ 或

$$SP_i = \partial S_i / \partial b_i \quad [2]$$

实质上是第*i*制约因子在*t*时刻对该系统的制约强度。在线性规划模型:

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^n c_i x_i \\ AX \leq B \\ X \geq 0 \end{cases}$$

中,当*B*渐变为*B* + Δb_i , *B* + $2\Delta b_i$, ..., *B* + $n\Delta b_i$ 时,则系统的约束条件逐步改善,或制约性逐步解除,必然有: $\Delta S_{i,1}, \Delta S_{i,2}, \dots, \Delta S_{i,n}$ 与之对应。显然, $\Delta S_{i,1} \leq \Delta S_{i,2} \leq \dots \leq \Delta S_{i,n}$ 。

当 $\Delta S_{i,n} = \Delta S_{i,n+1}$ 时,即为第*i*制约因子对系统的制约性完全解除。此时所对应的第*i*制约因子的增量 $n\Delta b_i$ 即为第*i*制约因子对系统功能的制约幅度。

可进一步求得第*i*制约因子对系统功能的制约作用:

$$\Delta S_{i,n} = \int_B^{B+n\Delta b_i} SP_i(t) d(t)$$

影子价格 SP_i 随第*i*制约因子逐步解除而下降,其变化函数式可用计算模拟得到。因此,可根据第*i*制约因子的制约强度 $SP_i(t)$ 和制约幅度 $n\Delta b_i$ 确定它对系统总体功能的制约作用量 $\Delta S_{i,n}$, 从而实现对系统中各制约因子的定量分析。

(3) 制约幅度的测定: 用计算机模拟测定制约幅度。尽管有时制约幅度超过 B_i 的灵敏度范围 λ_i , 即 $n\Delta b_i > \lambda_i$, 只要 $B + t\Delta b_i$ 与模型不等式左边各项继续保持原线性关系, 并且该值具有实际意义, 模拟可继续下去, 直到 $SP_i(t) = 0$, 此时 ($t = n$) 所对应的第*i*因子增量 $n\Delta b_i$ 即为该制约因子的制约幅度。

(4) 技术进步对系统作用的定量分析: 技术进步在模型中表现为所对应的技术参数的改变。因此, 在实际技术水平允许范围内, 逐步改变与某一技术相关(包括间接相关)的所有参数, 然后进行计算机模拟, 可以进一步研究某一技术进步对系统总体功能的影响及其对其它子系统的影响, 定量确定各种技术进步对系统的作用。

二、实 例

1. 农户生态系统的演替导向

本研究以德清县溇山乡稽庆堂农户为对象, 通过以上方法对农户生态系统进行定量分析和决策, 指导农户生态系统由粮-桑型(GM)到粮-桑-鱼型(GMF)到粮-桑-鱼-兔Ⅲ型(GMFRⅢ)的优化演替, 取得了明显的效益。

(1) GM型农户系统 1985年以前, 该农户有4个农业人口, 户主夫妇常年务农, 子女作为农忙时的辅助劳力, 有桑园0.2公顷, 养蚕四批, 有水田0.37公顷, 实行麦-稻-稻、油-稻-稻、肥-稻-稻复种轮作制。是该地区典型的粮-桑型农户系统。1984年, 农户的实际收入为1979.58元, 用线性规划模型对该农户系统的结构进行优化分析, 结果表明, 即使在该系统处于结构最优化状态下, 也只能达到1991.48元。这一结果同时说明: 杭嘉湖地区的农户生态系统, 在几百年漫长的演替过程中, 在低水平状态下趋于自然优化。

主要制约因子特征的测定结果(表1)表明: 农户似乎可通过增加双夏期间劳力投入利用剩余桑叶扩大养蚕; 扩种油菜、大麦; 调整化肥结构等途径增加农户收入。由于这些制约因子中, 有些制约强度大, 但幅度小, 而有些幅度大却强度小, 因此, 要明显地增强农户系统的功能, 大大提高农户的收入, 仅仅改善这些制约因子是不够的, 需要增加新的生产内容, 丰富农户生态系统结构。

表 1 GM系统中主要制约因子的特征
Table 1 Features of constraints in GM-system

制约因子	幅度	强度 (元/单位)	制约量 (元)
双夏劳力(时)	33.03	2.71	29.12
夏种土地(公顷)	0.14	161.94	32.17
冬种土地(公顷)	0.02	118.51	2.62
油菜面积(公顷)	0.01	1200.75	2.69
大麦面积(公顷)	0.20	978.66	40.01
氮素平衡(公斤)	-166.73	-1.3	242.51
P ₂ O ₅ 平衡(公斤)	-78.06	-1.4	109.27
K ₂ O平衡(公斤)	-189.10	-0.65	122.91
桑叶平衡(公斤)	-3650	-0.04	163.76
蚕茧需求(公斤)	-20.1	-1.43	28.72

表 2 GMF系统中主要制约因子的特征
Table 2 Features of constraints in GMF-system

制约因子	幅度	强度 (元/单位)	制约量 (元)
春种劳力(时)	24.50	2.30	49.4
春种土地(公顷)	0.01	585.08	6.57
夏种土地(公顷)	0.23	1661.79	94.28
大麦面积(公顷)	0.11	280.15	22.55
氮素平衡(公斤)	-181.68	-1.30	236.18
P ₂ O ₅ 平衡(公斤)	-75.32	-1.40	105.44
K ₂ O平衡(公斤)	-179.58	-0.65	116.20
桑叶平衡(公斤)	-3663.20	-0.039	139.03
蚕茧要求(公斤)	-5.20	-3.64	19.27
鱼塘(公顷)	0.11	3324.18	306.10

(2) GMF型农户系统 鉴于GM型系统的分析结果,根据当时的条件,农户在1985年初将0.05公顷低产田改造成鱼塘,实现了GM型向GMF型系统的演替。

通过一年的系统运行,GMF系统的实际收入为2136.69元,比上年增收157.11元。

主要制约因子特征的测定结果(表2)表明:在不占用现有耕地的前提下扩展鱼塘0.11公顷可增加农户收入306.10元,但没有可开发的鱼塘,用增加有机肥的投入代替化肥可增强收入,但仍受劳力和有机肥源的制约。因此,要进一步提高农户收入,仍须在系统中引入新的食物链,提高内部物质转化效率、丰富系统结构。

(3) GMFRⅢ型农户系统 鉴于GMF型系统的分析结果,根据当时的情况,农户引进了兔子,在计算机模拟结果(详见下文)指导下,把兔草生产纳入种植制度,建立了GMFRⅢ型农户系统,实现了农户系统又一次优化演替。

经过一年的运行,1986年该农户系统的实际收入为3187.09元,比上年增收1050.40元。

GMFRⅢ型系统中主要制约因子特征测定的结果(表3)表明:进一步提高农户系统收入的可行而较有效途径有三条:一是提高水稻单产改善稻谷需求的制约;二是采用农业机械

表 3 GMFRⅢ系统中主要制约因子的特征
Table 3 Features of constraints in GMFRⅢ-system

制约因子	幅度	强度 (元/单位)	制约量 (元)
春种劳力(时)	35.27	15.80	90.06
全年土地(公顷)	0.01	9131.49	66.71
早稻秧田(公顷)	0.22	2610.15	71.76
晚稻秧田(公顷)	0.035	2365.95	62.22
鱼塘(公顷)	0.001	2601.34	4.41
氮素平衡(公斤)	-211.16	-1.30	287.51
P ₂ O ₅ 平衡(公斤)	-139.56	-1.40	195.36
K ₂ O平衡(公斤)	-212.11	-0.65	137.87
桑叶平衡(公斤)	-1904.40	-0.083	53.24
稻谷需求(公斤)	-559.30	-2.07	134.54
夏产兔草(公斤)	826.40	0.14	131.09
蚕茧需求(公斤)	-1.20	-34.33	40.38

或省工的农艺措施(但不降低产量),节约春季用工、缓和劳力制约;三是提高夏季兔草产量。1988年,农户已对上述增收途径采取了相应措施,特别是增产粮食措施,其结果有待检验。

2. 农户系统演替过程中主要子系统的地位变迁分析及适应对策

(1) 水稻生产

在GMFRⅢ系统中,由于兔子生产有较高的经济位,而兔草生产与水稻存在着土地、劳力等资源的竞争,从而使水稻的经济位下降。但国家的指令性计划及农户自身对粮食的基本需求又使水稻生产具有坚定的基

本地位,在与其它各业的各项资源竞争中,强烈地制约系统的整体功能。因而,提高水稻单产,有利于腾出部分土地、劳力扩种免草,发展养免,增加收入。相反,如果采用以降低单产为代价的水稻省本生产技术,会使较多土地用于稻谷基本需求量的生产而制约经济位较高的种养业发展,降低系统的整体效益。

粮食生产的整体效益,随系统演替程度提高而加强,同时也随粮食的减产幅度增大而明显(见表4)。

表4 水稻省本减产技术对系统功能的影响
Table 4 Influence of both reducing cost and yield of rice on the function of the system

省本量 (元)	亩产 (公斤)	目标函数(元)	
		GMF	GM
0	700	3290.86	1991.48
7.9	680	3210.39	2018.14
15.8	680	3096.36	2044.79
23.7	670	2964.96	2071.61
31.6	660	2760.90	2098.44
39.5	660	2480.27	2125.28

从表4的计算机仿真结果,还可得出以下几点启示:

a. 在现行的粮价和粮食经营管理制度下,对各项水稻生产技术措施的评价不能局限于它的直接经济效益,而应该充分考虑它对农户系统,乃至整个宏观农业系统的整体效益。

b. 随生态农业(或系统农业)建设的深入,农业生产的系统性加强、种养业之间逐步协调,水稻生产的战略地位更加明显,更有必要进一步重视水稻高产的综合配套技术研究和推广。

c. 在保证水稻高产前提下,开发稻田空白生态位,提高稻田综合经营的经济效益,有利于水稻生产进一步实行精细管理,促进水稻高产,同时提高水稻在系统中的直接经济位。因此,研究稻田综合经营新技术具有重要意义。

(2) 蚕茧生产 随农户生态系统的演替,蚕茧生产的影子价格在不断下降(表5),主要原因在于:随农户生态系统功能的提高,劳力的影子价格亦随之上升,特别是春种季节作为耗用大量活劳动的蚕茧生产的影子价格就不断下降,由此导致蚕茧产量不稳定,危及以蚕茧为原料的企业。

表5 春种劳力和蚕茧生产的影子价格
Table 5 Shadow prices of spring labour and cocoon production in different systems

系统	春种劳力(元/时)	蚕茧生产(元/公斤)
GM	0	-1.43
GMF	2.8	-3.63
GMFR II	15.8	-34.33

用调整价格和技术改良两种措施来稳定和提高蚕茧产量将产生两种不同的结果:

a. 提高蚕茧收购价格 能促进农户加强桑园管理、增加对养蚕业的物化劳动和活劳动的投入,但必然引起系统内各生产项目间劳力、物质、资金的再分配,使养蚕业发展对其它动植物生产的消极作用抵消或部分

抵消了它对其它各业的积极促进作用,导致系统整体功能不能正常发挥。

b. 推广高效、增产的生产技术和服务体系 采用高产桑树和蚕种;推广新的栽桑技术,通过桑园综合经营增加桑园投入和管理,既提高桑叶产量、又获得其它产品;用吸泥船在疏浚河道淤泥时将泥输入桑园,恢复河泥壅桑的传统,保持桑园、农田、江河中的养分平衡;……能减少单位蚕茧量生产所需的各种消耗,提高其影子价格,从而稳定和提高其产量,同时又促进其它子系统的生产发展,提高系统的整体功能。

显然,抓蚕茧生产的合理对策应该是:通过蚕茧价格合理调整促进高效、增产新技术的推广应用和生产服务体系的配套。

3. 引进新物种的生态-经济位鉴定

在种养业结构调整,农户生态系统结构优化、演替过程中,引进新物种是一项重要的工作,但首先要做好引进前的可行性分析——鉴定物种引入系统后在整个系统中的生态-经济位。这种鉴定的关键是把新物种放在最适的生产位置上,有别于单纯的生态适应性鉴定。

在兔子引进时,先根据采草养兔的常规方法建立 GMFRI 系统模型,模型的求解和分析结果表明,农户可养兔12只,比GMF系统增收179.68元,但少产稻谷1000多公斤。系统的主要制约是春、夏季因劳力紧张所致的兔草采集量不足,制约作用量分别是 $\Delta S_{22.} = 60.04$ 元、 $\Delta S_{23.} = 162.62$ 元,权衡利弊,这种养兔方法显然没有普遍的可行性。

用划地种草方式养兔,既可利用部分失管的土地,又可提高草兔的劳动生产率,克服 GMFRI 系统的不足。于是,根据这种方式建立 GMFRII 系统模型。对模型求解及分析结果表明:农户可养兔30只,比GMF和GMFRI型系统分别增收980元和580.07元。春、夏、秋三季的兔草产耗平衡仍是主要的制约因子,制约作用量分别为 $\Delta S_{22.} = 792.67$ 元、 $\Delta S_{23.} = 665.70$ 元、 $\Delta S_{24.} = 64.77$ 元。

划地种草养兔固然有一定的可行性,但饲草与粮争地制约着兔子种群规模扩展,而作物和桑叶生产中的许多空间、季节上的空白生态位可以进一步开发用于种植饲草,克服 GMFRII 系统的不足。显然,将兔草纳入当地的种植制度,能进一步挖掘兔草的生产潜力。于是建立 GMFRIII 系统模型,模型的求解及分析结果表明:农户可养兔37只,比GMF系统和 GMFRII 系统分别增收1079.19元、99.19元。

农户根据上述模拟结果、择优建立了GMFRIII系统,并取得了丰厚的经济效益。

三、讨 论

1. 当 $n\Delta b_i > \lambda_i$ 时,如果 $B_i + n\Delta b_i$ 具有实际意义(如通过雇工增加农忙季节劳力投入),可以通过对模型

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^n c_i x_i \\ AX \leq B + n\Delta b_i \\ X \geq 0 \end{cases}$$

不断增加步长 Δb_i , 连续求解以测定制约幅度。通过这种测定,结合经济上的可行性分析,必然有第*i*制约因子随改善度提高而制约强度 $SP_i(t)$ 不断下降,而改善制约因子的费用 $P_i(t)$ 随之增加。图1表明,在点N, $SP_i(t) = P_i(t)$, 可定N点所对应的 $B + n\Delta b_i$ 为制约因子的最大有效改善度。对该制约因子改善的投资效率可表示为:

$$Q_i = \frac{\int_0^{n\Delta b_i} [SP_i(t) - P_i(t)] dt}{\int_0^{n\Delta b_i} P_i(t) dt} \quad (1)$$

在对系统的限制因素进行投资改善时,可根据 Q_i 值大小决定优先顺序。

值得进一步指出的是:仅仅根据某时刻第*i*制约因子的制约强度(影子价格)来分析该

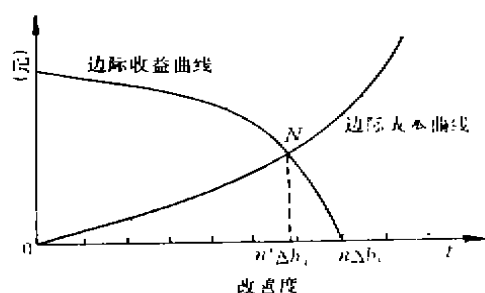


图1 第*i*制约因子改善的边际成本和边际收益的变化
Fig.1 Changes in marginal cost and return of the *i*-th constraint's improvement

因子对系统的制约作用量是不可靠的。例：在 GMFRⅢ 系统中，鱼塘面积的制约强度为每公顷 2601.34 元，似乎扩大鱼塘面积颇有经济意义，但它的制约幅度却为 0.001 公顷，制约作用量为 4.41 元。并且，制约作用量不是某时的制约强度与制约幅度的乘积。

2. 制约因子的改善，可根据各因子间互作关系的类型决定改善次序。在一般情况下，受不同源制约，并可同步改善的因子，分别改善不及诸因子同步改善为好。

假设 *i* 和 *j* 两个限制因子受非同源制约，

当 $B \rightarrow B + \Delta b_i$ 时, $SP_i(t_0) \rightarrow SP_i(t_1)$

$B \rightarrow B + \Delta b_j$ 时, $SP_j(t_0) \rightarrow SP_j(t_1)$

$B \rightarrow B + \Delta b_i + \Delta b_j$ 时, $SP_i(t_0) \rightarrow SP_{ij}(t_1)$ 和 $SP_j(t_0) \rightarrow SP_{ji}(t_1)$

显然，当所有影子价格为正值时，有：

$$SP_{ij}(t_1) \geq SP_i(t_1) \text{ 和 } SP_{ji}(t_1) \geq SP_j(t_1)$$

如果 *i*、*j* 两因子的改善分别达 $n'\Delta b_i$ 和 $n'\Delta b_j$ 时，费用分别为 W_i 、 W_j （是一个常数），如果该两因子分别改善，则：

$$Q_i + Q_j = \left[\int_0^{n'\Delta b_i} SP_i(t) dt + \int_0^{n'\Delta b_j} SP_j(t) dt - (W_i + W_j) \right] / (W_i + W_j) \quad (2)$$

如果同步改善，则：

$$Q_{i+j} = \left[\int_0^{n'\Delta b_i} SP_{ij}(t) dt + \int_0^{n'\Delta b_j} SP_{ji}(t) dt - (W_i + W_j) \right] / (W_i + W_j) \quad (3)$$

比较 (2)、(3) 两式可得：

$$Q_{i+j} \geq Q_i + Q_j$$

例如在 GMFRⅢ 系统中，如果仅仅改善了春季劳力投入量，与此有关的子系统生产规模得以扩大（如蚕茧生产、兔子饲养），但夏季兔草对系统的制约性进一步增强，如果把高产牧草引入和春季劳力改善同时进行，对提高系统功能的效果更好。

3. *B* 项在线性规划中一般定义为资源项，其中有些资源是可增生或追加的，有些则不能，前者可通过技术进步或劳动投入而增加 b_i 值，后者则不能，但可用技术进步减少耗用，两者都可归结为左边项 *A* 矩阵的参数改变。因此，可以撇开 $n\Delta b_i$ 值的意义求 $\Delta s_{i,j}$ 值，其一般意义在于度量技术进步引起 *A* 矩阵中 *i* 行技术参数改变对系统功能的影响程度。例如，在农户系统中，稻谷需求的制约量愈大，农民对水稻的增产技术就愈重视，在 GM 系统中每亩增产稻谷 10 公斤，农户得到的是稻谷增产的直接经济效益，而在 GMFRⅢ 系统中，稻谷亩产提高 10 公斤，农户就可以在保证完成稻谷生产任务前提下，适当压缩水稻面积、发展经济效益更高的种养业，从而得到更好的经济效益。

参 考 文 献

- [1] 王兆寿等, 1988, 农户生态系统结构的优化, 生态学杂志 7(3):1—8。
[2] 何建坤, 1985, 《实用线性规划及计算机程序》, 第46—47页, 清华大学出版社。

THE STUDY ON THE METHOD OF QUANTITATIVE ANALYSIS AND DECISION-MAKING IN FARMER'S HOUSEHOLD

Wang Tian-Gen Wang Zhao-Qian

(Agroecology Institute of Zhejiang Agricultural University, Hangzhou)

The methodology of quantitative analysis and decision-making in farmer's household was studied in this paper. The newly application of linear programming is also found. The new concepts of constraints' intension, constraints' range and constraints' degree are proposed and have been used first to analysis quantitatively constraint factors in farmer's household agroecosystem and then to make decision for farmer's household management. By means of this the direction for household agroecosystem succession has been guided and good practical results have been got too. The further application of linear programming in the analysis of agroecosystem is also discussed.

Key words: farmer's household agroecosystem, linear programming, constraints' degree.