

绿色农业生态资本运营收益的持续量： 规律约束与动态控制

严立冬，陈 胜，邓 力

摘 要：运用生态经济学和农业可持续发展的基本原理，探讨绿色农业生态资本运营收益持续量的生态规律、动态变化与最优控制等问题。遵循生态规律是持续获得绿色农业生态资本运营收益的前提，而绿色农业生态资本运营收益的持续量处在动态变化中，要获得最佳持续量，即每次收获量尽可能大，且在历次收获时都能获得尽可能大的收获量，就要求政府和绿色农业经营者加大投入，人为对绿色农业生态系统采取生物、化学及混合策略进行干预和控制。

关键词：绿色农业；生态资本运营；持续量；最优控制

中图分类号：F304.4 **文献标识码：**A **文章编号：**1671-0169(2015)05-0055-07

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2015.05.023

一、引 言

中国现代农业发展的关键问题是转变农业生产方式、调整农业产业结构，在确保农产品质量安全、数量安全的前提下，促进农业资源安全和生态安全。现代农业的多功能性也要求农业生产必须兼顾生态环境保护与农业经济增长，实现生态收益与经济收益的统一。绿色农业生态资本是绿色农业生态可持续发展的基本要素，而持续获得绿色农业生态资本运营的收益是绿色农业生态资本保值增值的前提和基础。本文就绿色农业生态资本运营收益持续量的生态规律约束、动态变化及最优控制等问题展开论述，旨在使绿色农业生态资本运营每次收获量尽可能大，且在历次收获时都能获得尽可能大的收获量。

从理论研究来看，有学者将绿色农业基本理论与生态资本理论相结合，提出了绿色农业生态资本的概念^[1] (P333-362)，初步探讨了绿色农业生态资本化的条件、原则、机理和思路^[2]，认为绿色农业是以全面、协调、可持续发展为基本原则，以促进农产品安全、生态安全、资源安全和提高农业综合效益为目标，充分运用先进的科学技术、工业装备、管理理念，汲取人类农业文明成果，遵循循环经济的基本原理，把标准化贯穿到农业整个产业链条中的新型农业发展模式^[3]；生态资本是所有能创造效益的自然资源、人造资源以及生态服务系统，具有生态服务价值或者生产支持功能的生态环境质量要素的存量、结构和趋势^[4]；生态资本运营主要是通过对生态资本使用价值的有效运用，依据生态

基金项目：国家自然科学基金项目“生态脆弱地区生态资本运营式扶贫研究”(71303261)；国家社会科学基金“浙闽粤畲族山区生态文明建设路径研究”(14BMZ108)；湖北师范学院资源枯竭型城市转型与发展研究中心2014年度开放基金项目“资源枯竭型城市生态资本运营安全性研究——基于生态文明视角的分析”(KF2014x02)

作者简介：严立冬，中南财经政法大学工商管理学院教授、博士生导师(湖北武汉430073)，湖北师范学院资源枯竭型城市转型与发展研究中心研究员；陈胜，中南财经政法大学工商管理学院博士研究生

资本的消费及其形态的变化,实现生态资本长期收益整体最大化而进行的活动^[5];绿色农业生态资本运营就是在保持甚至不断提高绿色农业生态系统整体服务功能以及绿色农业生态环境质量的前提下,用最少的农业生态资源产生最大的经济效益,实现绿色农业生态资本向货币转化的一系列措施和方法^[6]。绿色农业生态资本积累是绿色农业生态资本运营的基础和前提,为了促进绿色农业生态资本存量的增加,维持绿色农业生态资本存量的非减性,需要建立绿色农业生态资本积累的机制、政策体系及选择低碳化发展道路^{[3][4]}。绿色农业生态资本运营是一种通过对绿色农业生态资本使用价值的有效运用,即对其运营过程进行有效的计划、组织、实施和控制,利用对绿色农业生态资本的消费及其形态的变化,实现绿色农业生态资本长期收益整体最大化而进行的活动。这种活动需要不断发现新的绿色农业生态要素资本化,发明新的绿色农业生态技术,降低成本,提高绿色农产品的生态位,维持较高的收益率,实现整个绿色农业生态经济系统的生态化^[2]。但是,从生态学、生态经济学和农业可持续发展的角度看,持续获得绿色农业生态资本运营收益会受到什么规律的制约?绿色农业生态资本运营收益最佳持续量的变化趋势如何?为了持续获取绿色农业生态资本运营收益,实现绿色农业生态系统规模最优,应采取怎样的措施加以调控?这些问题既是绿色农业生态资本健康运营的客观要求,也是本文拟解决的关键问题。

二、绿色农业生态资本运营收益持续量的生态规律约束

收益,静态上讲是一种利益存在;而从动态的角度来讲,它则是指利益的收获过程与行为。绿色农业生态资本运营收益是绿色农业生态系统独特收益的体现,主要是指绿色农业生态系统给人类社会提供的生态、经济和社会收益。其目的是激励绿色农业生态资本投资行为、化解绿色农业生态资本投资收益冲突,通过对各种利益关系进行确认、协调,从而使绿色农业生态资本投资主体的收益权得到保障。对于不同的绿色农业生态系统,要想保有和利用其收益,就必须要求人类活动或自然侵蚀对绿色农业生态系统的干扰或破坏不能超过其所能承受的极限。如果超出这个极限,绿色农业生态系统就会受到破坏,它的部分或全部收益就会消失。例如,一定面积的森林可提供调节气候、涵养水源等诸多的生态收益,如果人们的活动不断破坏森林,使林地面积逐步缩小,当实际林地面积低于调节气候或涵养水源所必需的林地面积的极限时,这些森林所提供的生态收益的总量不是减少,边际量不是相对递增,而是消失。绿色农业生态资本运营的这一特性可称为其收益的生态约束。绿色农业生态资本运营收益的生态规律可通过图1加以描述。

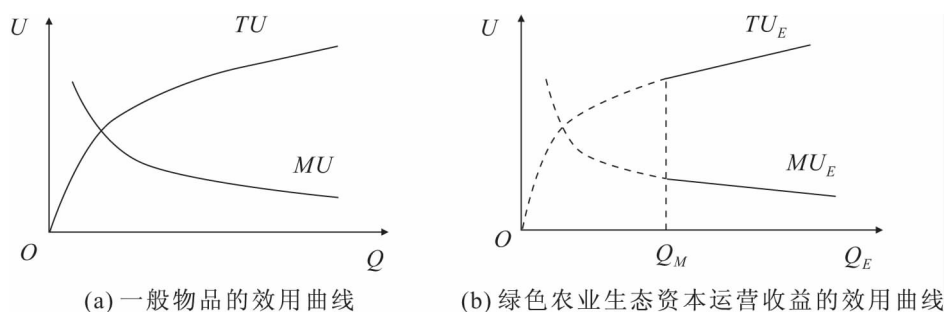


图1 绿色农业生态资本运营收益持续量的生态规律示意图

图1(a)表示一般物品的效用总量 TU 随物品消费量 Q 的增加而增加,边际效用 MU (效用曲线切线的斜率)随物品消费量的增加而减少。图1(b)表示只有在绿色农业生态系统达到一定规模,即在极限 Q_M 以上时,绿色农业生态资本运营收益总量 TU_E 才会随着绿色农业生态系统规模 Q_E 的增加而增加,边际效用 MU_E (效用曲线切线的斜率)随绿色农业生态系统规模的增加而减少;在极限 Q_M 以下时,收益就会不存在,相应的收益总量 TU_E 就为零。由图1(b)可知,在 Q_M 处曲线不是

连续的,因此不存在导数, MU_E 也就不存在。

绿色农业生态资本运营收益持续量的生态规律的启示是,绿色农业可持续发展必须将绿色农业生态资本损耗控制在绿色农业生态系统可承受范围之内。良性的绿色农业生态资本运营能增进绿色农业发展所损耗的生态资本量,并保持资本增量的可持续性,提升绿色农业生态资本的合理利用效率。为了保证人类社会可持续发展,代际之间对绿色农业生态资本的分配应以不伤害绿色农业生态资本的增殖功能为原则,一定量的绿色农业生态资本在代际间的分配可以通过简单的数学模型得出:

$$Q = \sum \frac{Q_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$U(Q) = \sum U\left[\frac{Q_t}{(1+r)^t}\right] \quad (2)$$

式中, $Q_M \leq Q \leq Q_E$, 则可构建拉格朗日函数为:

$$L = \sum U\left[\frac{Q_t}{(1+r)^t}\right] + \lambda \left[Q - \sum \frac{Q_t}{(1+r)^t}\right] \quad (3)$$

求导解得:

$$\frac{\partial L}{\partial Q_t} = \frac{\partial \left[\frac{Q_t}{(1+r)^t}\right]}{\partial Q_t} - \frac{\lambda}{(1+r)^t} = 0 \quad (4)$$

整理可得:

$$\frac{\partial U(Q_t)}{\partial U[(1+r)^t]} = \frac{\lambda}{(1+r)^t} \quad (5)$$

式(5)中,两边同时乘以 $(1+r)^t$, 则有:

$$\frac{\partial U(Q_0)}{\partial Q_0} = \frac{\partial U(Q_1)}{\partial Q_1} = \dots = \frac{\partial U(Q_t)}{\partial Q_t} = \lambda \quad (6)$$

由式(6)可见,只有当同期或同代人的绿色农业生态资本消费的边际效用相等时,绿色农业生态资本配置才能实现最优。绿色农业生态资本运营通过提升农业生态安全标准或改善农业生态资本消费质量,降低农业生态资本损耗量,这样将使当代人的农业生态资本损耗水平降低到极限 Q_M 以下,从而为绿色农业生态资本运营收益的持续量提供生态基础。

三、绿色农业生态资本运营收益最佳持续量的动态分析

由于绿色农业生态资本运营收益表现在生态收益、社会收益和经济收益三个方面,且其运营收益是一个持续的过程,建立静态的投入—产出模型显然无法对其进行准确描述,故考虑从理论上建立动态的投入—产出模型来进行描述。

投入—产出模型由列昂捷夫提出。他将国民经济分为 n 个产业部门,静态的投入—产出模型表示为:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

或记作:

$$x = Ax + y \quad (7)$$

其中, $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, $[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 为产值向量, $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$, $[y_1,$

$y_2, \dots, y_n]^T$ 为最终产品向量, $A = \{a_{ij}\}$ 为直接消耗系数矩阵, A 矩阵表达了生产过程中各部门之间产品的消耗情况, 同时也反映了生产的技术水平, 因而也成为技术系数矩阵。

由静态模型可以推出:

$$y = (I - A) x$$

可以证明, $(I - A)^{-1}$ 是存在的, 于是

$$x = (I - A)^{-1} y$$

列昂捷夫给出的动态投入—产出模型的形式为:

$$Ax(t) + B[x(t+1) - x(t)] + y(t) = x(t) \quad (8)$$

他认为, 下一年度各产业部门生产的扩大依赖于本年度的投资, 投资的消耗为 y 的一部分, $B[x(t+1) - x(t)]$ 这一项表示第 t 年用于投资以便扩大再生产的那些产品, B 成为“投资系数矩阵”。

由动态模型可得:

$$x(t+1) = [I + B^{-1}(I - A)] x(t)$$

根据以上对动态投入—产出模型的分析可知, 在建立绿色农业生态资本运营的动态投入—产出模型之前, 首先要明确相应的投入与产出指标。在投入方面, 分为政府和经营者两方面, 其中政府的投入主要有: (1) 宣传投入 (绿色农业推广投入的资金 X_1); (2) 环境保护投入, 分为水环境保护的投入 (绿色农业集中式污水处理设施数 X_2) 和土壤环境保护的投入 (绿色农业土壤重金属含量 X_3); (3) 基础设施建设投入, 分为水利设施建设投入 (绿色农业有效灌溉面积 X_4)、绿色农业机械投入 (绿色农业农用机械总动力 X_5) 和绿色农业耗电量 (绿色农业用电量 X_6); (4) 专项资金投入 (绿色农业固定资产投资额 X_7 、绿色农业直接财政支出 X_8)。经营者的投入主要分为四个部分: (1) 生产要素投入, 主要是土地 (绿色农业耕地面积 X_9)、劳动力 (绿色农业劳动力 X_{10}) 和化肥 (绿色农业化肥施用量 X_{11}); (2) 资金投入 (绿色农业生产的资金投入 X_{12}); (3) 技术投入 (绿色农业先进技术或工艺的投入 X_{13}); (4) 管理投入 (绿色农业经营管理投入 X_{14})。

在产出方面, 绿色农业生态资本运营的收益是多目标的, 分为生态效益、社会效益和经济效益, 其中生态效益主要是生态环境的改善, 分为水环境的改善 (绿色农业水源化学需氧量 Y_1) 和土壤环境的改善 (绿色农业土壤有机质含量 Y_2); 社会效益主要是绿色农产品消费意识的提高 (选择绿色农产品消费者的占比 Y_3); 经济效益主要是绿色农产品产值的增加 (绿色农产品年总产量 Y_4 、年销售额 Y_5 和绿色农业经营者年纯收入 Y_6)。

结合绿色农业生态资本运营的整个环节, 将投入方面的各个指标组合成为投入—产出模型的直接消耗技术矩阵, 将产出方面的各个指标组合成为最终产品向量。绿色农业生态资本运营收益包含三个方面, 因此可进一步建立一个多目标最优化理论模型, 其基本形式如下:

$$\begin{aligned} V - \min F(x) &= (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))^T \\ s. \quad t. \quad &\begin{cases} (I - A)x(t) - B[x(t+1) - x(t)] = \tilde{y}, t = 0, 1, \dots, T \\ g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, p \\ x \in R^n, x \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

四、绿色农业生态资本运营收益持续量的最优控制

明确绿色农业生态资本运营收益持续量的最优规模问题, 对于绿色农业物种选育、绿色农业理性开发、虫害和天敌的防治及流行病的预防十分重要。在绿色农业生态系统中, 某些生物种类需要保护和繁衍, 某些生物却需要抑制其增长, 归根到底, 这类问题都是绿色农业生态系统中的种类、种群规模控制问题, 只有确定出绿色农业生态系统的最佳规模, 才能保证绿色农业生态资本运营持续获得最

佳收益。从各自特征来看, 需要保护和抑制的生物迥异, 但也有共同之处, 可放在一起进行讨论, 其控制目标就是对应的种群规模的最大化 (需要保护的生物种类) 和最小化 (需要抑制的生物种类)。下面利用生态学中的生物群落最优控制原理进行分析说明^{[7] (P177-179)}。

假定一个绿色农业生态系统包含绿色农作物 (物种 N_1)、有害昆虫 (物种 N_2) 和有害昆虫的天敌 (物种 N_3) 3 个物种。在能够对该绿色农业生态系统实施控制的前提下, 向系统内引入农作物 N_1 (食物、肥料、水等) 的饲 (种) 养基层 (N_0) 和抵御有害昆虫 N_2 的化学、生物方法。控制目标是确保绿色农作物健康生长, 以实现绿色农业生态系统和绿色农业生态资本运营收益最大化, 同时要考虑所有的实际支出。在绿色农业生态系统中, 各物种间的相互作用路径如图 2 所示。

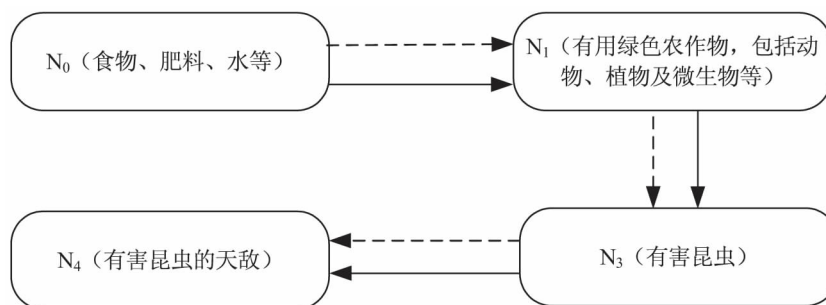


图 2 控制绿色农业生态系统的种群间相互作用路径

绿色农业生态系统中群落的动态变化模型可写成:

$$\begin{aligned} \frac{dN_0}{dt} &= u_1 - \gamma_0 N_0 N_1 \\ \frac{dN_1}{dt} &= N_1 (\varepsilon_1 + \gamma_{10} N_0 - \gamma_{12} N_2) \\ \frac{dN_2}{dt} &= N_2 (\varepsilon_2 - u_2 + \gamma_{21} N_1 - \gamma_{23} N_3) \\ \frac{dN_3}{dt} &= N_3 (-\varepsilon_3 + u_3 + \gamma_{32} N_2) \end{aligned} \tag{10}$$

其中, $\varepsilon_i (i=1, 2, 3)$ 表示物种的出生率 (或死亡率), $\gamma_{ij} (i=0, 1, 2, 3; j=0, 1, 2)$ 表示绿色农业生态系统中物种间的相互作用, u_i 表示分级别控制量, $i=1, 2, 3$ 。 u_i 的可能情况包括: u_1 的情况是绿色农业生态系统中饲 (种) 养基层的输入率 (食物、肥料、水等); u_2 的情况是绿色农业生态系统中杀虫剂的输入率, 杀虫剂可以提高害虫的死亡率, 即防治虫害的化学方法; u_3 的情况是绿色农业生态系统中害虫天敌数量人为增长的特定速率, 即防治害虫的生物方法。

在绿色农业生态系统中, 绿色农业生态资本运营收益持续量最优控制的突出特点就是要保证系统的稳定性。因此, 最优化问题可表示为: 求解未知量 $u_1, u_2, u_3 (0 \leq u_i \leq U_i, i=1, 2, 3)$ 的值, 其目的是保证绿色农业生态系统中种群间均衡状态的存在性和稳定性, 并获得最优函数 I 的最大值^[8]。为了达到绿色农业生态系统控制的目的, 最优函数的形式可改写成:

$$I(u_1, u_2, u_3) = k_1 N_1^* - k_0 u_1 - k_2 u_2 N_2^* - k_3 u_3 N_3^* \rightarrow \max \tag{11}$$

其中, 在绿色农业生态系统中有价值的作物的单位成本为 k_1 , 以单位速度人为输入系统饲 (种) 养基层 N_0 的支出为 k_0 , 使用杀虫剂的单位支出为 k_2 , 全部天敌的单位支出为 k_3 。根据两物种种群的动态模型分析方法, 其非均衡状态的形式为:

$$\begin{aligned}
 N_0^* &= \frac{\gamma_{12}N_2^* - \varepsilon_1}{\gamma_{10}} \\
 N_1^* &= \frac{u_1}{\gamma_0 N_1^*} \\
 N_2^* &= \frac{\varepsilon_3 - u_3}{\gamma_{32}} \\
 N_3^* &= \frac{\gamma_{21}N_1^* - \varepsilon_2 - u_2}{\gamma_{32}}
 \end{aligned} \tag{12}$$

用含有 N_i^* ($i=1, 2, 3$) 的表达式来表示未知量 u_i ($i=1, 2, 3$), 对式 (12) 进行简化可得:

$$\begin{aligned}
 I^* &= (N_0^* N_1^* N_2^* N_3^*) \\
 &= kN_1^* - k_0N_0^* N_1^* - k_2\gamma_{21}N_1^* N_2^* + (k_2\gamma_{32} + k_2\gamma_{23})N_2^* N_3^* + k_2u_2N_2^* - k_3u_3N_3^* \rightarrow \max
 \end{aligned} \tag{13}$$

式 (13) 的约束条件为:

$$\begin{aligned}
 \gamma_1N_0^* N_1^* &\leq U_1 \\
 0 &\leq \gamma_{21}N_1^* - \gamma_{23}N_3^* - \varepsilon_2 \leq U_2 \\
 \varepsilon_2 &\leq -\gamma_{32}N_2^* \leq U_3 - \varepsilon_3 \\
 N_i^0 &\geq 0 \quad (i=1, 2, 3)
 \end{aligned} \tag{14}$$

这样就将初始优化问题转换成一个标准的二次规划问题, 利用适当的数值方法就可以求出此类问题的最优解。一般地, 为了获取绿色农业生态运营的最大收益, 防治绿色农业生态系统中害虫的最优策略是: 当 $u_3^* > 0$ 时, 选用生物防治方法较可行; 当 $u_2^* > 0$ 时, 选用化学防治方法较可行; 当 $u_2^* > 0$ 且 $u_3^* > 0$ 时, 选用生物防治与化学防治相结合的方法较可行。

五、研究结论与展望

从农业发展的演进阶段来看, 绿色农业是现代农业发展的主导模式。绿色农业生态资本实现货币转化通常可获得较高的生态、经济和社会收益, 但是不同的转化途径实现的价值不同, 而且其价值和收益的实现会因为经济地理区位差异和人们的生态意识而有所不同。综合来看, 绿色农业生态资本运营经济效益和社会效益的形成都要依赖其生态价值和生态收益。本文运用生态经济学和农业可持续发展的基本原理, 探讨了绿色农业生态资本运营收益的生态规律、最佳持续量的动态变化及绿色农业生态系统最优控制等问题。研究认为, 由于绿色农业生态资本运营收益受到相应的生态约束, 因此绿色农业可持续发展必须将绿色农业生态资本损耗控制在绿色农业生态系统可承受范围之内, 充分考虑绿色农业生态系统的承载能力, 既要使绿色农业生态系统提供最多的产量, 但又不影响和危害系统中种群的增长, 从而实现绿色农业生态资本的长期持续利用。绿色农业生态资本运营收益持续量最优控制的突出特点就是要保证整个绿色农业生态系统的稳定性。

土地、淡水、气候等资源是绿色农业可持续发展的生态要素基础, 但是“人多地少、人多水少、资源相对匮乏”是中国的基本国情, 由于掠夺性的开发、落后的粗放式发展模式, 造成了“人口大国、资源小国、生态弱国”的严峻局面。中国现代农业生态化、绿色化发展要求运用生态学的整体观, 把绿色农业经济系统与自然生态系统作为一个有机整体, 重视生态环境和生态资源对绿色农业发展的重要意义, 重新认识绿色农业系统的生态服务价值, 注重实现绿色农业生态经济复合系统整体收益的最大化。本文就绿色农业生态资本运营收益的生态规律、最佳持续量的动态变化及绿色农业生态系统最优控制等问题进行了理论分析, 但还有不少问题待进一步深入研究。一是在绿色农业发展受到的资源环境约束日益趋紧的情况下, 区域经济社会发展水平和绿色农业生态基础的差异导致绿色农业生态资本运营收益率不同, 区域绿色农业生态资本运营的生态收益、经济收益和社会收益具有较大的

差异,需要因地制宜予以量化分析,这是有针对性地开展绿色农业生态补偿和进行收益分配的前提。二是由于绿色农业生态资本运营收益受到多种因素的影响,绿色农业生态资本运营收益形成的绩效评价将是继续深化研究的重要方面,这是进行绿色农业生态资本运营收益绩效管理的基础。三是绿色农业生态资本丰富的地区往往是经济社会发展水平较低的地区,同时也是重要的生态功能区,如何处理好绿色农业生态资本运营收益的分配机制与减贫的关系也是后续研究的重要内容,这是实现区域协调与区域生态协作的基础。

参考文献

- [1] 严立冬,刘新勇,孟慧君,等.绿色农业生态发展论[M].北京:人民出版社,2008.
- [2] 严立冬,孟慧君,刘加林,等.绿色农业生态资本化运营探讨[J].农业经济问题,2009,(8).
- [3] 严立冬,邓远建,屈志光.绿色农业生态资本积累机制与政策研究[J].中国农业科学,2011,(5).
- [4] 严立冬,邓远建,屈志光.论生态视角下的低碳农业发展[J].中国人口·资源与环境,2010,(12).
- [5] 王凯,陈文汇,刘俊昌.最优管理下野生动物资源最优控制模型构建与分析[J].四川动物,2013,(1).
- [6] 严立冬,孟慧君,刘加林,等.绿色农业生态资本化运营探讨[J].农业经济问题,2009,(8).
- [7] [白俄罗斯]纳塔丽·西德南科,[乌克兰]尤里·耶申科.经济、数学与环境科学中的数学模型[M].申笑颜,译.北京:中国人民大学出版社,2011.
- [8] 佟欣,张洪光.一类生态系统的最佳控制问题[J].生物数学学报,2013,(3).

(责任编辑 朱 蓓)