

# 基于经济动力系统模型的转基因产业研究

杨文杰, 黄沛 (上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200052)

**摘要** 通过对转基因作物生态系统和经济系统的了解, 在考察了创世纪有限公司和大量文献研究的基础上, 建立了一个转基因产业生态经济模型体系平台, 并在这个平台上建立了一个转BT棉的实际应用模型, 利用以政府干预因子将两个独立的系统——生态、经济联系在一起, 并通过能值分析理论进行纲量统一。在模型分析中, 将索洛模型修改后计算出1998~2005年技术进步对国内转基因棉产业经济增长的贡献份额; 通过C语言和MATLAB软件模拟仿真了转BT棉产业在不同政府干预情况下的经济发展走势并做了具体分析。最后, 对政府干预的形式手段给出了实际的解释, 并对国内转基因产业发展提出了一些政策构想。

**关键词** 转基因; Bt基因; 模型; 政府干预因子

中图分类号 F307 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)04-01693-03

转基因作物(GMC), 又称基因修饰植物(GMP)或基因修饰生物(GMO), 指利用现代生物技术, 通过基因工程方法导入特定的外源基因, 获得具有特定性状的作物或改良生物品种。就转基因产业而言, 它是一个生态经济综合问题, 需将生态系统和经济系统有机结合在一起。但至今没有人尝试以模型来同时涵盖这两个系统并作出现实意义的分析解释。同时通过大量的资料查阅, 对比各国研究情况, 笔者发现对转基因技术的研究多, 政策研究少; 对政策的研究中定性分析多, 定量分析少; 理论依据中基于调研的成果多, 基于数学模型的理论依据几乎没有。因此, 笔者通过详细研究转基因产业生态和经济两个独立系统, 发现了一个作为桥梁的联系因子, 然后通过这个因子有机地将两个系统联系起来, 并进行了一定深度的分析, 得出了具有指导意义的结论。

## 1 拟解决的问题

经验证明, 大面积地种植单一品种对于一个新品种与病虫害竞争是很脆弱的, 且还会危害农作物遗传多样性, 转基因作物的种植可能加速作物基因资源的流失。美国Monsanto公司对其在美国亚利桑那州长期种植Bt棉的土壤进行检测, 其指标超过了欧共体定出的指标。由于一些抗虫基因的表达蛋白会随植物体在土壤中的残留存积于土壤中, 对后续的播种及产量造成极大的影响。另外, 大面积耕种转基因作物还会引发许多其他食品安全性问题, 1999年英国转基因马铃薯事件就引起大众对转基因食品安全性的全面关注。

相对转基因技术高产优质的特点, 转基因农业产品及其加工品也存在诸多隐患, 造成了另一种意义上的不可持续性发展, 生态多样性的破坏、有毒物质的残留违背了生态可持续发展; 技术不够成熟导致的安全性问题, 产生了对社会和人类健康的潜在威胁; 同时由于转基因产业技术含量高、起步晚、商业开发进程缓慢, 也给转基因产业的经济可持续发展带来了阻力。该文主要解决以下3个问题: 两个独立系统如何连接, 系统之间纲量如何统一; 如何从模型上分析出该产业的经济增长率及各生产要素对经济增长的影响; 如何在生态保护的前提下控制经济增长走势。

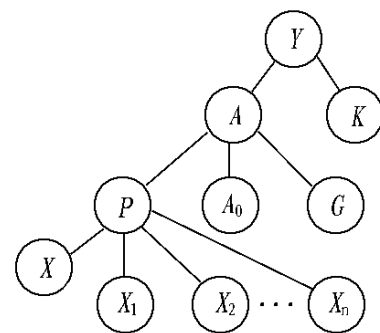
## 2 模型假设参数

(1) 自然资本的经济动力系统中, 都用了一个因子, 在经

济系统中, 它占有固定资产的一部分; 在生态系统中, 它作为减少污染的一个经济投入出现。简单地说, 就是从固定资本中拿出一部分用于治理污染。

通过对中国创世纪有限公司(中国最大的转基因棉种子公司)的考察, 探索性地提出了联系两个独立系统的因子——政府干预因子。政府多以税收政策, 规模控制及市场的监管等对产业进行调控。而对转基因产业而言, 通过调查, 用于生态污染的治理90%来自政府的税收, 所以把税收定为政府干预因子的实际体现, 便找到了这个“桥梁”, 为后来模型的建立奠定了基础。

(2) 能值理论和分析方法是由著名生态学家, 克莱福奖得主HT Odum首创的, 目前在全世界已有很大的推广。“海南省资源环境和经济发展的能值分析”(1994)就是基于该方法, 可衡量和分析自然环境和人类经济关系的共同尺度。方法的核心也就是将所有的能值——产品或劳务形成过程中直接或间接投入应用的一种有效能总量, 按一定的公式, 转化成太阳能, 然后进行分析。



注: Y, 产量; A, 生产力水平; K 固定资产; P 负效益; G 正效益; A<sub>0</sub> 同类非转基因生产力水平; X, 政府干预因子; X<sub>1</sub>... X<sub>n</sub> 转基因特性因子。

Note: Y, yield; A, productivity level; K, capital asserts; P, negative results; A<sub>0</sub>, productivity level of non-transgenic counterpart; X, government interrventionfactor; X<sub>1</sub>... X<sub>n</sub>, transgenic specific factor.

图1 转基因作物生态经济模型体系

Fig. 1 System of ecological economy model for transgenic crops

通过该方法将转基因生态系统的变量单位通过《生态经济系统能值分析》中的公式表转化成太阳能度量单量, 再将其转化成货币单位和经济系统达成了统一。

(3) 借助于著名的索罗模型, 将其修改后应用于该系统进行经济增长情况的分析。

(4) 在生态保护的前提下控制经济增长走势。在模型建立后, 通过控制政府干预因子来同时调控两个系统, 在达到生态保护的约束条件下观察分析经济走势。

基金项目 唐仲英科研基金。

作者简介 杨文杰(1983-), 男, 江苏扬中人, 硕士研究生, 研究方向: 产业经济。

收稿日期 2007-09-20

### 3 模型设计与实证分析

**3.1 转基因作物生态经济系统的模型平台设计** 通过对转基因特性的深入研究、提炼,探索性地将转基因产业生态系统同经济系统通过“政府干预因子”有机结合,提出了“转基因作物生态经济模型体系”(图1)。

根据柯布-道格拉斯函数拟定 Y 与 A, K 的关系;又参考了陈六君(1999) 的包含自然资源的经济动力学模型构建思想,建立了模型体系方程组:

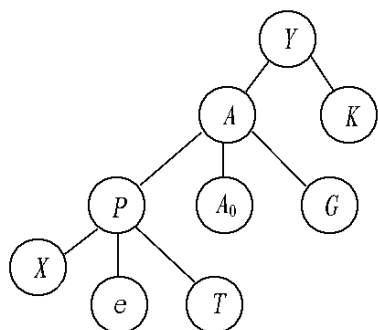
$$Y = A(1 - x) K L^{\alpha} \quad (1)$$

$$P = \sum_{i=1}^N f_i(x_i) - xK \quad (2)$$

$$A = A_0(a_1 G - a_2 P) \quad (3)$$

方程(1)即为加入政府干预因子的柯布-道格拉斯函数,是个典型的投入产出经济系统。方程(2)  $f(x)$  为转基因特性因子  $x_i$  带来了负效益函数,  $\alpha$  为弹性系数。意为通过政府干预后的所拨给转基因作物产业的资金,  $xK$  一定程度上减小了由转基因特性因子带来的污染负效应 P。方程(3)右端为转基因作物正负效应的综合( $a_1, a_2$  为弹性系数),通过研究目前转基因特性与收益的关系后得出,该综合效益( $a_1 G - a_2 P$ )的作用与同类非转基因作物的生产力水平即为该作物的现有生产力水平。该模型在形式上可解释现有的大部分扩增性转基因作物,下面 Bt 棉实际模型也就是在这一平台上建立的。

**3.2 Bt 棉的实际模型设计及实证分析** 以上述“转基因作物生态经济系统的模型平台”为模本,把各个变量具体化,建立了“Bt 棉应用模型”(图2),并建立了相应的方程组。



注: Y, 产量; A, 生产力水平; K, 固定资产; P, 抗性积累(负效益); G, Bt 棉内生生产效率;  $A_0$ , 普通棉单位面积产量; e, 转基因棉覆盖率; T, 转基因棉 Bt 毒素含量; X, 政府税收干预。

Note: Y, yield; A, productivity level; K, capital assets; P, resistant accumulation (negative result); G, production efficiency of Bt cotton;  $A_0$ , per unit area yield of common cotton; e, coverage rate of transgenic cotton; T, content of Bt toxin in transgenic cotton.

图2 抗虫棉应用模型

Fig.2 Application model of insect-resistant cotton

$$Y = A(1 - x) K \quad (4)$$

$$P = a_1 e^{[-0.05(E-120)]} + a_2(-2T^2 + T - 1) - a_3 xK \quad (5)$$

$$A = A_0(b_1 G - b_2 P) \quad (6)$$

方程(4)为简化了的柯布-道格拉斯函数,为了分析的侧重点,假设劳动力和固定资产每年为定值,着重分析生产力 A 与产量的关系。方程(5)中,通过与 Bt 棉种子公司的联系,提炼出对产量影响最显著的两个转基因特性:土地覆盖率和毒素含量。右式第一项为 Bt 棉覆盖率对抗性积累的影响函数,右式第二项为 Bt 棉毒素含量对抗性积累的影响函数。这两项的建立参见了赵建周等(2001)建立的“转基因抗虫棉抗性适应的模拟模型”。通过简单的数学知识便可从模型中读出: Bt 棉覆盖率越大,污染越大;而对毒素含量而言,当含量到一临界值时,对生态威胁最大。这两点和现实理论是吻合的。第三项  $a_3 xK$  即为政府干预对污染的治理和控制量。方程(6)含义与在“转基因作物生态经济系统的模型平台设计”中的一样,在此不再赘述。

系数和弹性系数的选择是整个建模中最耗时间的,为了定  $A_0$  和 G 两个常数,笔者查找了大量的资料,最后定  $A_0$  为 2 (比值),固定资本  $K = 50$  万元。在选择  $b_1, b_2$  时,我们通过 MATLAB 软件的最小二乘法线性拟合,得出  $b_1 = 0.132, b_2 = 0.124$ 。在定 G 时假定生产效率在所考察的几年间变化可忽略,定为  $60000$  株/hm<sup>2</sup>;而相对而言,对  $a_3$  的选定主观因素就强了些,不准确性也较大,主要通过 C 对模型结果的仿真与笔者所主观期望走势的比较来修改  $a_3$ 。

为了使方程左右等式的量纲相等,笔者参考了《经济系统能值分析》中的转化单位,将所有的自然资源转换成太阳能值后统一转变为经济价值:棉花能值转化率 =  $8.6 \times 10^5$  sej/J;土壤损耗能值转化率 =  $1.7 \times 10^9$  sej/J。

**4 模型的应用**

**4.1 我国转基因产业技术进步对经济增长的影响** 影响产量的主要因素是生产要素的分配,具体来说就是科研资本、固定资本以及劳动力的投入。从各国经验和历史来看,技术水平对经济的影响最大,因此科研资本投入最重要。

#### 4.1 我国转基因产业技术进步对经济增长的影响

基于对索罗模型研究,通过改进后的模型的分析,对我国转基因棉花的生产情况进行计算(表1、2),可见现在我国的转基因棉的技术进步率只有 2.156%,而技术进步贡献份额平均还不到 1%。这一方面说明我国转基因技术的落后,另一方面也存在科学成果转化为商业成果的效率太慢。如果这两点不得到改善,将成为我国转基因产业发展的瓶颈。

表1 我国转基因棉产量、劳动人数、固定资产投资总额情况

Table 1 The yield, labor number and total investment of capital assets for transgenic cotton in our country

年份	转基因棉花产量 亿元	固定资本 万元	劳动力 万人
Year	Transgenic cotton yield	Fixed capital	Labor
1998	1 617.00	53 859.33	1 134.00
1999	1 834.00	57 627.08	1 108.00
2000	1 617.00	76 687.38	1 089.00
2001	1 834.00	104 565.94	1 077.00
2002	1 617.00	135 638.13	1 075.00
2003	1 834.00	143 450.73	1 052.00
2004	1 617.00	144 091.16	1 037.00
2005	1 834.00	144 689.66	1 022.00

**4.2 生态的约束条件及最小政府干预** 我们的模型需要一个生态约束条件,就从变量 P 的含义找起,在 Carper R 的“The results of field test of genetically modified plant and microorganisms”(1995) 中定出转基因棉土壤毒素含量不得超过 8.35 ng/g,将做为我们的约束条件,通过对模型简单的运算,得出政府干预不得低于 10%,低于这个值生态就将遭到破坏。据

MONSANTO 公司的信息,美国亚利桑那州的转基因棉区土壤

表2 我国转基因产业经济增长率及各生产要素贡献率测算 %

Table 2 Calculation on economic increasing rate of transgenic industry and contribution share of production elements in our country

年份 Year	劳动贡献份额 Contribution share of labor	资本贡献份额 Contribution share of capital	技术进步率 Progressive rate of technology	技术进步贡献份额 Contribution share of technology progress	产出增长率 Increasing rate of output
1999	3.451	5.986	10.115	1.197	11.832
2000	6.932	61.480	-3.395	-0.149	4.380
2001	1.804	26.870	2.278	0.245	10.749
2002	2.517	192.954	-6.127	-0.079	1.286
2003	2.898	4.494	11.739	1.541	13.128
2004	-17.769	-3.399	-1.309	0.019	-1.416
2005	15.280	2.681	1.792	0.030	1.671
平均值 Mean	2.159	41.581	2.156	0.401	5.947

毒素含量曾一度高于31.5 ng/g, 严重超标的后果使当年该地农作物产量减少约20%。

4.3 政府干预对经济增长的调控及最大政府干预 促进企业技术进步和技术创新的关键在于科研的力度和转基因技术的商业化进程, 政府的角色就是通过财税政策的调整, 全局把握转基因技术的研发, 即通过税收把大量的资金投入科学研发上, 同时也鼓励企业进行科研创新。

以转基因棉为例, 通过对模型的分析和数据拟合, 可看到政府的干预对技术进步和产量的影响, 由图3、4可见, 随着产业科研比重的和生产率提高呈正向关系, 生产率边际效益递增; 科研资金的投入和用于生产的投入的比例达40%左右产量可达最大, 即用于科研的资本占到所有资本投入的40%将使产业的经济效益和生态效益最优。超过40%, 沉默资本即科研投资将挤占生产投资, 反而阻碍产业发展。所以得出结论, 政府干预应为10%~40%。

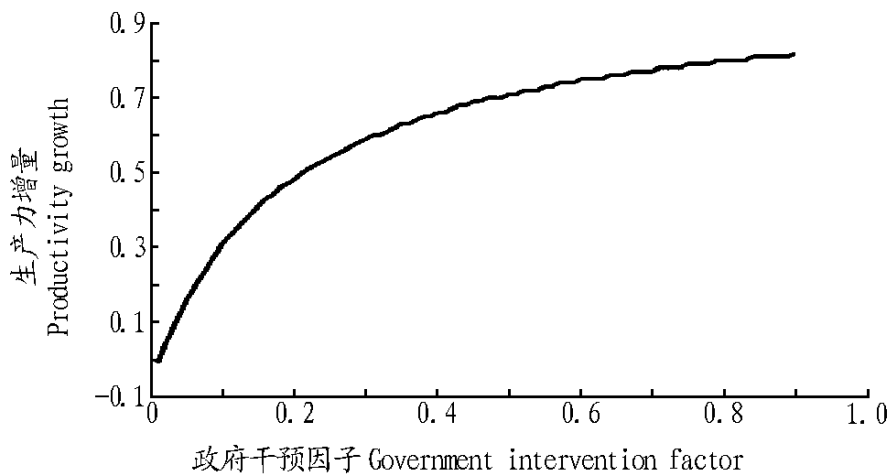


图3 政府干预因子对生产率增量的影响

Fig. 3 Effect of government intervention factor on productivity growth

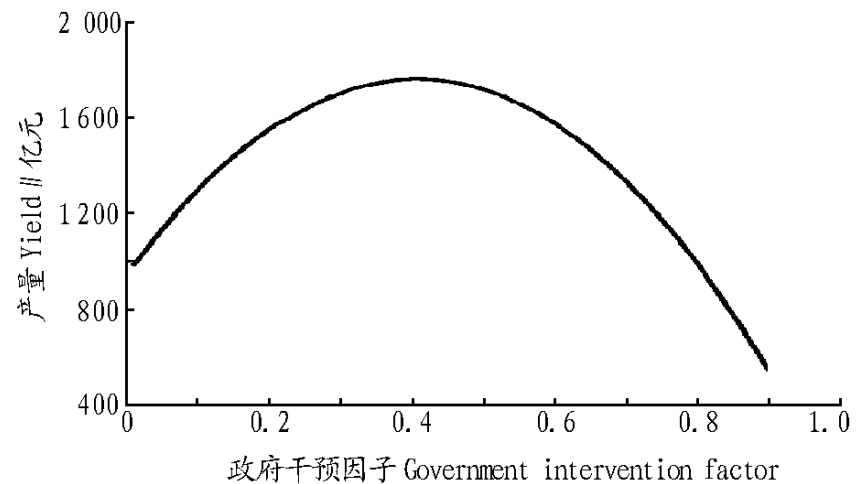


图4 政府干预因子对产量的影响

Fig. 4 Effect of government intervention factor on yield

5 项目展望

笔者设想在模型中加入消费者的接受度这一因子, 并正在进行这方面的调研工作。最后, 还拟定在模型体系平台上再做一个关于抗除草剂大豆的生态经济应用模型, 届时将加入消费者接受度和人体生理反映因子。由于能力、时间有限, 经验不足, 模型在与现实的吻合时还有一些问题, 但相信在我们的构想下, 模型会越来越完善, 更好地为我国转基因产业提出些有用的建议。

参考文献

[1] SLOW, ROBERT M. A contribution to the theory of economic growth [J]. Quarterly Journal of Economics, 1956, 70: 65-94.  
 [2] MANKI W, N GREGORY, DAVID ROMER, et al. A contribution to the empirics

of economic growth [J]. Quarterly Journal of Economics, 1992, 107(2): 407-437.  
 [3] SALAI MARIN, XAMER X. Just ran two million regressions [J]. American Economic Review papers and Proceedings, 2001, 87(2): 178-182.  
 [4] YONG BIAO LIU. Effects of Bt cotton and GylAc toxin on survival and development [J]. Insecticide Resistance and Resistance Management, 2001, 94(5): 1237-1242.  
 [5] 陈六君. 包含自然资本的经济动力学 [D]. 北京: 北京师范大学, 2001.  
 [6] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值 [J]. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.  
 [7] 石培礼, 李文华, 何维明. 川西天然林生态服务功能的经济价值 [J]. 山地学报, 2002, 20(1): 75-79.  
 [8] 袁强. 宏观经济系统的模型分析和研究 [D]. 北京: 北京师范大学, 1996.  
 [9] 世界环境与发展委员会. 我们共同的未来 [M]. 北京: 世界知识出版社, 1989.  
 [10] 21世纪议程 [M]// 国家环保局, 译. 北京: 中国环境科学出版社, 1993.