

中国北方脆弱生态区在人类活动影响下的演化及其调控

冉圣宏¹, 陈吉宁¹, 曾思育¹, 薛纪渝²

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875)

摘要: 以生态承载力、生态弹性力、经济开发强度和经济发展速度等 4 个综合性变量作为描述脆弱生态区的状态变量, 建立了脆弱生态区的演化模型, 并以内蒙古的翁牛特旗和敖汉旗脆弱生态区为例, 对不同经济开发活动方式下脆弱生态区的演化过程进行了模拟, 结果表明, 人类经济开发活动对脆弱生态区的演化趋势具有重要的影响。

关键词: 脆弱生态区; 演化; 调控; 模型; 模拟

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 0267(2002)05 - 0432 - 04

Evolution and Its Control of Vulnerable Ecology Region Undergoing Human Activity in Northern China

RAN Sheng-hong¹, CHEN Ji-ning¹, ZENG Si-yu¹, XUE Ji-yu²

(1. Department of Environment Science and Environment Engineering of Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Institute of Environment Sciences of Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The evolution of vulnerable ecology region is dynamic processes of every state variable of vulnerable ecology region affected by various factors. During the evolution processes of vulnerable ecology region, human activities play a decisive effect. This paper establishes a model of vulnerable ecology region's evolution by regarding four synthetic variables as state variables describing vulnerable ecology region. Those synthetic variables are ecological carrying capability, ecological elastic capability, economic exploitation intensity and economic exploitation velocity. Finally, this paper takes Wengniute county and Aohan county in the North of China as a case study to simulate the evolution processes of vulnerable ecology region in different economic exploitation way. And the result showed that human's exploitation activities have important influence on the evolution trend of vulnerable ecology region.

Keywords: vulnerable ecology region; evolution; controlling; model; simulation

脆弱生态区是由生态系统和经济系统相互交织、相互作用、相互耦合而成的、具有一定结构和功能的复合系统, 其中生态系统是演化的物质基础, 而经济系统则是演化的驱动力。生态承载力与生态弹性力是描述脆弱生态区状态的综合性变量, 因此, 区域生态承载力和生态弹性力理论是脆弱生态区演化及其调控研究的理论基础。

1 脆弱生态区演化模拟的理论基础

1.1 区域生态承载力的内涵及其量化

区域生态承载力是指某一区域范围在可以预见

的时期内、在现有的经济技术条件下、其自然资源(包括环境资源)所能支持的具有一定生活质量的人口规模和经济规模(包括经济开发强度)。区域生态承载力是环境资源对人类活动支持能力的一种客观度量。

不妨设 c_1, c_2, \dots, c_n 表示区域经济活动的限制性因子, 对于任何限制性因子 c_i , 它都存在一个阈值, 在满足这些阈值的前提条件下, 求出各发展变量 d_{ij} 的加权和的最大值:

$$\begin{cases} \sum W_i d_{ij} \rightarrow \max \\ \text{subject to } C_{i\min} \leq c_i = f_i(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im},) \leq C_{i\max} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: d_i 表示发展变量集中的第 i 个发展因子; c_i 表示限制变量集中的第 i 个限制因子; $C_{i\min}$ 和 $C_{i\max}$ 表示第 i 个限制因子 c_i 的限度值; f_i 表示第 i 个限制因子与所有的发展因子之间的关系, 可用逐步回归法得到 $\sum w_i d_{ij}$, 就是生态承载力值。

收稿日期: 2001 - 12 - 17

基金项目: “九五”国家重点科技攻关项目(96 - 920 - 13 - 01)

作者简介: 冉圣宏(1969—), 男, 湖北松滋人, 博士, 主要从事环境规划与管理、脆弱生态系统的演化、环境系统的不确定性分析等方面的工作。

1.2 区域生态弹性力的内涵与量化

区域生态弹性力是表征生态环境对经济活动支持能力的另一个重要指标,它是生态环境在受到外界的干扰偏离初始的平衡态后自我维持、自我调节的能力,是生态环境离开平衡状态后恢复到初始状态能力的一种表示。

影响区域生态弹性力值的因素很多,其中最主要的因素包括影响弹性强度的区域气候和区域植被因素、影响弹性限度的系统各组成部分的互补能力等。

其计算方法如下:

$$El = \lambda \cdot \mu \cdot Li \quad (2)$$

式中: El 为生态环境的弹性力; λ 为调节系数; μ 为表征生态环境弹性强度的弹性系数; Li 为弹性限度, $Li = \min\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$, 其中 d_i 为生态环境各限制因子时间序列的分维, 这里 $\mu = \frac{H \times V}{c_1 c_2}$ (其中 H 为景观多样性指数, V 为植被指数, c_1 、 c_2 分别为区域气温与降水量的年变率)。在生态承载力理论和生态弹性力理论的基础上,可建立脆弱生态区的演化模型。

2 脆弱生态区演化模型的建立

生态承载力与生态弹性力都是对经济开发活动支持能力的一种表示,可用生态承载力、生态弹性力、经济开发强度以及经济开发速度来表示脆弱生态区的状态,脆弱生态区的演化研究就以这四个综合性指标的变化趋势为依据。

在构建脆弱生态区演化模型之前,先作以下假设:

(1) 由于经济发展水平的提高和科技进步等因素的影响,生态承载力 y_1 具有内禀增长率;但受其自身制约,它不可能无限制地增长下去,即生态承载力的增长应有一个阈值 $K(t)$ 。在不考虑其它因素的影响时, y_1 的增长趋势为:

$$\frac{dy_1}{dt} r_1 y_2 \left[1 - \frac{y_1}{k(t)} \right] \quad (3)$$

(2) 在不考虑其它因素的影响时,生态弹性力 y_2 的变化趋势与生态承载力 y_1 的变化趋势相似,即它在一定的阈值范围内具有一个内禀增长率 r_2 。

(3) 经济的发展是加速度的,即经济开发强度 y_3 也有一个内禀增长率,且在没有其它因素的影响下,经济开发的强度必将会越来越大,故 y_3 将是指数增长的:

$$\frac{dy_3}{dt} = r_3 y_3 \quad (4)$$

其中 r_3 是经济开发强度 y_3 的内禀增长率。

(4) 在不考虑其它因素的影响时,经济开发强度 y_3 与经济开发速度 y_4 的变化趋势是相似的,即有内禀增长率且不存在阈值的限制。

(5) 资源型变量 y_1 、 y_2 对消耗型变量 y_3 、 y_4 有促进作用,即 y_1 、 y_2 越大, y_3 、 y_4 的增长速率就越大;而消耗型变量 y_3 、 y_4 对资源型变量 y_1 、 y_2 有抑制作用,即 y_3 、 y_4 越大, y_1 、 y_2 的增长率就越小。

(6) 经济开发强度过小或过大都会对生态承载力产生负面作用,只有适度的经济开发强度才会促进生态承载力的提高;一定的经济开发速度总会“消耗”脆弱生态区的生态弹性力,因此, y_4 对 y_2 有负面作用,但在其取适度值时这种负面影响最小。

在以上假设的基础上,得到脆弱生态区的演化模型如下:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_1 \left[r_1 \left(1 - \frac{y_1}{k_1(t)} \right) + a_1 y_2 + a_2 (-y_3^2 + 2y_3 - 0.95) \right] \\ \frac{dy_2}{dt} = y_2 \left[r_2 \left(1 - \frac{y_2}{k_2(t)} \right) + a_3 (-y_3^2 + 0.1y_4 - 0.05) \right] \\ \frac{dy_3}{dt} = y_3 (r_3 + a_4 y_1 - a_5 y_4) \\ \frac{dy_4}{dt} = y_4 (r_4 + a_6 y_2 - a_7 y_3) \end{cases} \quad (5)$$

其中, y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 是脆弱生态区的状态变量, r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 a_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) 是参数,它们的范围在 $[0, 1]$ 之间。这里的 r_i 是系统状态变量的内禀增长率, a_i 表示系统中各状态变量之间相互作用的大小,称为影响因子。这些参数的值一般可以根据实测数据拟合得到,即将实测数据代入模型中进行验证,调整参数,使模型的演化结果与实际相符。也可根据所提出的调控措施为依据,对各参数的值进行调整,以对不同的经济开发措施所引起的生态经济后果进行预测模拟。

3 脆弱生态区演化模型调控的理论基础

在适度经济开发评价模型的基础上,可建立适度经济开发的调控模型,它是一个复杂的动力学耦合系统,由一些简单的低维系统耦合而成。邓明华证明了一类简单的耦合振子系统的动力行为在一定条件下将以其各自频率的均值同步,即在由相同或相似的构成单元组成的耦合系统中,无论系统构成单元的自然频率是否有差异,它们最终都会同步到一个共同的频率上去,因此若将系统 $\frac{dX}{dt} = f[x(t)]$ 分为两个部分,

即将状态变量 X 划为两类: $X = \begin{pmatrix} X_s \\ X_R \end{pmatrix}$, 其中 X_s 为状态

系统, X_R 为响应系统, 则 X_R 的频率会影响到 X 的频率, 故通过调整响应系统的频率就可以对整个耦合系统的演化趋势进行控制。

4 实例研究

4.1 翁牛特旗与敖汉旗脆弱生态区的演化

表 1 翁牛特旗与敖汉旗 1990—1998 年生态承载力与生态弹性力指数表

Table 1 Ecologically - carrying capacity and ecology elasticity in Wengniute County and Aohan County

年份		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
生态承载力指数	翁牛特旗	1.21	1.17	1.08	1.30	1.40	2.32	1.75	2.6	1.9
	敖汉旗	1.23	1.20	1.13	3.54	1.73	2.15	4.61	3.92	4.22
生态弹性力指数	翁牛特旗	1.94	0.06	0.73	1.46	0.24	0.53	7.97	0.2	0.40
	敖汉旗	0.58	1.23	0.30	0.28	1.50	1.97	0.52	0.52	0.22

以生态承载力和生态弹性力为基础建立翁牛特旗和敖汉旗脆弱生态区的演化模型, 模型中的参数是以模型的模拟结果尽量与实际状态相符合为标准通过多次搜索得到的。翁牛特旗脆弱生态区的演化模型为:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_1[0.5(1 - \frac{y_1}{k_1(t)}) + 0.20y_2 + 0.10(-y_3^2 + 2y_3 - 0.95)] \\ \frac{dy_2}{dt} = y_2[(1 - \frac{y_2}{k_2(t)}) + 0.5(-y_4^2 + 0.1y_4 - 0.05)] \\ \frac{dy_3}{dt} = y_3(0.15 + 0.03y_1 - 0.4y_4) \\ \frac{dy_4}{dt} = y_4(0.25 + 0.25y_2 - 0.1y_3) \end{cases} \quad (6)$$

$$(y_1, y_2, y_3, y_4)_0 = (1.21, 0.052, 1.0, 0.05)$$

由(6)式可得到翁牛特旗脆弱生态区各状态变量的模拟结果, 见图 1。

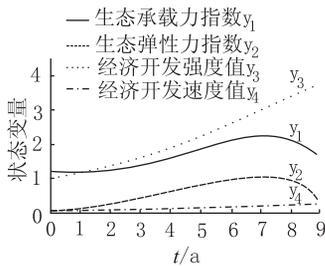


图 1 翁牛特旗脆弱生态区随时间的演化图

Figure 1 Evolvement of state variables in Wengniuteqi vulnerable ecology region

从图 1 可知, 在目前的经济开发方式下, 翁牛特旗经济开发强度将有较快的增长, 生态承载力和生态弹性力指数在经过一个较长时期的上升后会快速下降, 其中生态承载力指数在未来的 5 年内将会持续下降, 在下降到 0.4 的水平后会出现反弹, 进入一个新的上升期; 生态弹性力的变化具有较大的波动性, 在第 9 年时出现突变, 并影响了整个脆弱生态区的演化过程; 受到生态承载力下降的影响, 经济开发强度在

基于可得数据, 选择人均 GDP、农业现代化程度和产业结构三个变量作为发展变量; 通过计算发展变量时间序列的分维来确定限制变量的个数, 根据发展变量与限制变量之间的相关系数, 选择相关系数较大的变量作为限制变量, 在此基础上计算生态承载力与生态弹性力指数, 结果见表 1。

整个研究时段内持续下降, 这种发展趋势显然是不能接受的, 因此必须向脆弱生态区施加人为影响, 改变这种逆向演化的状况。

类似地, 可得到敖汉旗的演化模型, 如(7)式。

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_1[0.5(1 - \frac{y_1}{k_1(t)}) + 0.10y_2 + 0.02(-y_3^2 + 2y_3 - 0.95)] \\ \frac{dy_2}{dt} = y_2[0.1(1 - \frac{y_2}{k_2(t)}) + 0.01(-y_4^2 + 0.1y_4 - 0.05)] \\ \frac{dy_3}{dt} = y_3(0.05 + 0.10y_1 - 0.5y_4) \\ \frac{dy_4}{dt} = y_4(0.10 + 0.50y_2 - 0.1y_3) \end{cases} \quad (7)$$

$$(y_1, y_2, y_3, y_4)_0 = (1.232, 0.582, 1.0, 0.05)$$

由(7)式可得到敖汉旗脆弱生态区各状态变量的模拟结果, 见图 2。

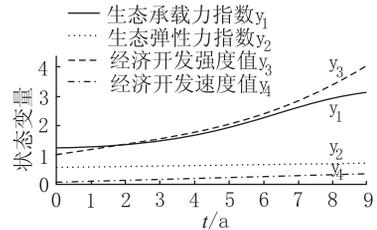


图 2 敖汉旗脆弱生态区随时间的演化图

Figure 2 Evolvement of state variables in Aohanqi vulnerable ecology region

从图 2 可知, 在目前的经济开发方式下, 敖汉旗脆弱生态区的 4 个状态变量均有不同程度的增加, 其中生态承载力指数在未来 1—3 年间将有一个短期的急剧下降, 但随后会开始缓慢上升, 且它不会对经济发展的强度产生负面影响; 生态弹性力和经济发展强度在研究时段内都会将持续上升, 但生态弹性力值在第 9 年时会发生突变, 导致以后的演化过程失去实际意义; 经济发展速度有一个较小的波动(在 1—5 年间经济加速发展, 而后开始缓慢下降), 但可保持在

0.04—0.07 之间。但在第 8 年时生态承载力和生态弹性力指数都开始下降,并影响到其经济开发活动的强度和速度。

4.2 脆弱生态区演化过程的调控

根据翁牛特旗与敖汉旗脆弱生态区的脆弱特征及其脆弱驱动因子,可提出相应的调控措施,并对其调控效果进行分析。翁牛特旗属经济发展水平低、域外支持能力弱型的脆弱生态区,对它实施的相应调控措施是解决贫困,提高域外支持能力;敖汉旗属环境资源型脆弱生态区,其脆弱特征主要表现在对环境资源的过度利用所引起的水土流失等方面,相应地,对它实施的调控措施就是增加生态环境综合治理投资。通过调整这些调控措施对各状态变量的影响因子,就可得到脆弱生态区演化模型的最佳调控途径。将调控措施量化为响应子系统,可得到翁牛特旗脆弱生态区状态—响应耦合模型,即(8)式:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_1[0.5(1 - \frac{y_1}{k_1(t)}) + 0.20y_2 + 0.10(-y_3^2 + 2y_3 - 0.95) + c_{1z_1}] \\ \frac{dy_2}{dt} = y_2[(1 - \frac{y_2}{k_2(t)}) + 0.5(-y_4^2 + 0.1y_4 - 0.05) + c_{2z_2}] \\ \frac{dy_3}{dt} = y_3(0.15 + 0.03y_1 - 0.4y_4 + c_3(1 - c_1)z_1 + (1 - c_2)c_4z_2) \\ \frac{dy_4}{dt} = y_4[0.25 + 0.25y_2 - 0.1y_3 + (1 - c_3)(1 - c_1)z_1 + (1 - c_2)(1 - c_4)z_2] \\ \frac{dz_1}{dt} = b_1 \\ \frac{dz_2}{dt} = b_2 \\ (y_1, y_2, y_3, y_4, z_1, z_2)_0 = (1.90, 0.40, 3.5, 0.4, 0.0, 0.0) \end{cases} \quad (8)$$

模型中有 6 个参变量 $c_1, c_2, c_3, c_4, b_1, b_2$,通过对这 6 个参变量进行调整,发现模型中的状态变量对 c_3 与 c_4 非常敏感,说明翁牛特旗脆弱生态区的演化趋势与其经济开发的方式(投资的领域)密切相关。

敖汉旗的脆弱特征主要表现在对环境资源的过度利用所引起的水土流失等方面,适当加大对生态环境综合治理的投入,在状态—响应方程中加入生态环境治理系统作为响应子系统,即可得到敖汉旗脆弱生态区的耦合调控模型(9 式):

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_1[0.5(1 - \frac{y_1}{k_1(t)}) + 0.10y_2 + 0.02(-y_3^2 + 2y_3 - 0.95) + cz] \\ \frac{dy_2}{dt} = y_2[0.1(1 - \frac{y_2}{k_2(t)}) + 0.01(-y_4^2 + 0.1y_4 - 0.05)] \\ \frac{dy_3}{dt} = y_3(0.05 + 0.10y_1 - 0.5y_4) \\ \frac{dy_4}{dt} = y_4[0.10 + 0.50y_2 - 0.1y_3 + (1 - c)z] \\ \frac{dz}{dt} = b \\ (y_1, y_2, y_3, y_4, z)_0 = (4.22, 0.222, 4.316, 0.33, 1.0) \end{cases} \quad (9)$$

在对敖汉旗的状态—响应方程的调控过程中发现,如果生态环境综合治理的投资仅仅影响生态环境承载力,那么要扭转生态承载力的下降趋势,每年进行生态环境治理的投资额的递增率至少应在 80% 以上,这几乎是不可能承受的;如果将每年投资额的增长率固定下来(例如将该增长率保持在 5%),而对另一个参变量 c 进行调整,发现当投资总额的 51% 用于提高生态环境的承载力、而另外 49% 用于提高区域经济发展的速度时,敖汉旗各状态变量可得到稳定、协调的提高。

4.3 调控效果的比较分析

对翁牛特旗与敖汉旗脆弱生态区演化趋势的模拟结果表明,在现有的发展方式下,翁牛特旗在 1998—2007 年间各状态变量的变化情况为:生态承载力指数在 1998—2003 年将缓慢下降,自 2004 年开始略有上升;生态弹性力指数将会出现强烈波动,在 2007 年时发生突变,使以后的模拟失去实际意义;经济发展强度会有明显的下降;而经济发展速度将会增长 1—2 倍。从这 4 个状态变量演化的整体情况来看,这种演化趋势是不可持续的。

对这两个典型脆弱生态区经济开发活动的最佳调控途径进行了分析,认为实现翁牛特旗脆弱生态区良性演化的主要调控措施应是增加用于解决贫困问题的投资和改善投资环境以提高域外支持能力;而敖汉旗脆弱生态区的总体演化趋势要好于翁牛特旗,因为其经济发展强度具有持续增长的趋势,对敖汉旗经济开发活动的最佳调控途径,是以目前生态环境治理的投资额为基准,使投资额度以每年 5% 的速度递增,且将投资的一半用于提高生态承载力,而将另外的一部分用于提高其经济开发的速度,则可使敖汉旗的各状态变量得到稳定、协调的增长。

参考文献:

- [1] 卢金发. 中国南方地区土地退化动态变化及人类活动影响[J]. 地理科学进展, 1999, 18(3): 216—221.
- [2] 周集中, 马世骏. 生态系统稳定性[A]. 见: 马世骏. 现代生态学透视[C]. 北京: 科学出版社, 1990. 54—71.
- [3] 祖元刚, 马克明. 分形理论与生态学[A]. 见: 李博. 现代生态学讲座[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 65—72.
- [4] 董玉祥. 中国沙漠化危险度评价与发展趋势分析[J]. 中国沙漠, 1996, 16(2): 127—131.
- [5] B Kochunov. 李国栋译. 脆弱生态的概念及分类[J]. 地理译报, 1993, (1): 18—23.
- [6] 邓明华. 一个耦合振子系统的锁相解及其应用[D]. 北京: 北京大学数学系硕士论文.