

人类活动与土地资源的动力学关系研究

陈玲玲^{1,2}, 林振山^{1,2}, 谢正磊³

(1. 江苏省环境演变与生态建设重点实验室; 2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097;
3. 北京大学环境学院资源环境与地理系, 北京 100871)

摘要:建立了经济、科技发展与人口增长等人类活动与土地资源之间的非线性动力学模式, 研究结果揭示了: (1) 平衡态土地资源总量与经济发展水平、科技发达程度成反比。当前我国正处于向工业化迈进的时代, 科技越发达、居民生活水平越高, 土地资源(农用地)减少得越快, 我国东部沿海地区的实际情况与研究结果相吻合; (2) 土地面积增加, 所能承载的人口数近似线性增加; 土地面积减少, 所承载的人口数近似线性减少; (3) 土地资源的承载能力是有限的, 所能承载的人口数也是有极限的, 超过一定的限度, 就会引起社会、生态环境的失衡。控制人口数量, 适当提高土地的复垦率, 把废弃的土地重新利用起来, 严格控制土地的沙漠化, 协调人与自然的关系, 对人类自身的发展至关重要。

关键词: 人类活动; 土地资源承载力; 土地复垦; 动力模式

中图分类号: F323.211

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0239-04

The Dynamic Relationship of Land Resource and Human Activity

CHEN Ling-ling^{1,2}, LIN Zhen-shan^{1,2}, XIE Zheng-lei³

(1. Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction;
2. The College of Geographic Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;
3. The Department of Resource Environment and Geography of the
College of Environment, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: A nonlinear dynamic model about the human activity and the utility of land resource is set up. The research results show that: (1) The total amount of land resource in the equilibrium state is inverse proportional to the level of the economy development and technology advancement. The faster the science and technology advances and the higher people's living condition level is, the more the land resource lessens within a certain time. Such results could be verified by the actual case study on the eastern coastal areas in China. (2) With the increase of the land acreage, the quantities of population which land resource could carry will linear increase. Conversely, the reducing of the land acreage will lead to the linear decreasing of the quantities of population. (3) The load-bearing capacity of land resource is limited. If human quantity that the land resource carry on exceeds the critical value, it may evoke the unbalance and deterioration of ecology and environment. It is the most important for us to control the population, avoid the land desertification, improve the ratio of land reclamation, harmonize the relationship between the human beings and the nature, and make good use of the abandoned land.

Key words: human activity; the load-bearing capacity of land resource; reclamation; dynamic model

1 引言

近年来, 人口、资源与环境的矛盾因人口剧增而日益尖锐, 由此引发的资源短缺、环境恶化等问题日趋严重。生态环境的改善关系到中华民族的生存和发展, 并已引起各国政府的高度关注^[1], 即全球的土地资源是否具有相应的生产潜力满足未来人口对食物的需要。我国人口与土地资源的矛盾已日益突出, 我国正以历史上最严峻的资源状况承载着有史以来最大数量的人口。

人多地少是我国的基本国情, 土地面积是有限的, 而人

口却是持续增长的。仅在 1996~2002 年^[1], 我国土地就年均净减少 68.47 万 hm^2 , 而这一时期我国却年均增加 1 000 万人^[2]。今后相当长一段时间内, 我国人增地减的趋势难以逆转。随着工业化和城市化进程加快, 不合理利用土地的现象突显, 工业用地与城镇用地扩展使农村土地特别是耕地急剧减少, 城镇规模扩展失控, 土地资源流失严重。人口增长与土地流失的逆向发展, 不仅威胁到我国小康社会的全面建设, 还对国家的安全战略产生重大影响。

土地资源的可持续发展问题已成为科学研究中的一个重要课题, 特别是经济的快速发展所造成的土地资源流失已

* 收稿日期: 2006-05-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40371108); 国家十五“211”工程重大项目: “不同时空尺度环境演变和生态建设”资助

作者简介: 陈玲玲(1982-), 女, 博士生, 主要从事资源、生态研究, 已发表论文数篇。

引起普遍关注。目前,虽然有很多关于经济发展与土地资源流失关系方面的研究^[4-12],但均不涉及人口增长、经济发展等与土地流失之间内在的动力学机制。

非线性科学作为一门崭新的科学,已应用到地学、环境科学、大气科学等众多领域。它最大的特点是能够量化研究事物之间的关系和机理。只有深刻了解人类活动等要素与土地资源之间的内在动力学关系和演化机制,才能实施科学而有效的管理,从而达到最大限度地合理利用土地资源的目的。本文正是运用非线性理论来研究土地资源与经济、科技发展及人口增长等人类活动之间的动力学关系,这对合理地利用土地资源和制定经济、人口发展政策以及保持土地资源的可持续发展都有着十分重要的意义,同时也可给政府制定土地保护政策或措施等提供科学依据。

2 模式的建立

假定人口数量 x 不仅与其基数成正比,还与土地资源 y 的承载能力(一定范围内土地资源所能供养的最大人口数)有关系。设 r 为人口的自然增长率, a 为单位土地资源所能承载的人口数,即土地资源对人口的承载能力, ay 则表示该地区土地资源总量所能承载的人口极限。一般来说,经济越发达的地区,土地资源的人口承载力越高,但土地资源的承载能力也是有限的。由于人口与土地资源的关系是一种复杂的非线性关系,我们假设土地资源对人口承载力的约束与人口总量的 2 次方成非线性关系, b 为人口对土地资源的需求系数,那么 $-bx^2$ 反映了土地资源承载力对人口的负反馈,它保障了土地资源与人口增长系统的有限性和稳定性。 $(ay - bx^2)$ 则表示该地区土地资源承载的剩余人口容量,人口数 x 越大,就越接近该地区土地资源承载的人口极限,剩余人口容量就越小。因此我们得到在土地资源约束下的人口方程:

$$\frac{dx}{dt} = rx(ay - bx^2) = f(x, y) \quad (1)$$

土地资源面积 y 的变化与人口增长及土地的非农地化率(每年用于非农建设的土地占全部可用土地资源的比重)有关,非农地化率主要由该地区经济发达程度(人民生活富裕程度) E 以及科技发达程度 T 两部分组成。人口密度越大、地区经济水平越高(人民生活越富裕)以及科技越发达,土地资源消耗越大,其中人口对土地资源的影响最大,故用因子 $(-KETx^2)$ 来表示人类活动对土地资源的综合影响。对土地资源而言,这种影响是负面的,不利于土地资源的自然变化。

当然,人类活动不仅包括利用土地,也包括改造、整理闲置和废弃的土地。假设 R 为历史垦荒率与当代复垦率之和; R_0 为历史上已经形成的土地垦荒率,历史上开垦的土地(耕地、建设用地、林地等)已经占用了大部分可利用的土地资源,现代只有很少的土地可供开垦; R_c 代表当代土地的复垦率。那么另一方面,中国存在相当严重的土地沙漠化、荒漠化现象,它们会破坏土地资源质量、减少土地资源数量,用表示当代土地的荒漠化率。因此在人类活动影响下土地资源的动力方程为:

$$R = R_0 + R_c \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt} = (-KETx^2 + R)y - Ay = g(x, y) \quad (3)$$

方程组(1) - (3)就是本文所提出的土地资源与人类活动的非线性动力模式。

3 平衡态特性分析

平衡态的物理意义是系统演化(发展)的最终态,了解

平衡态及其性质就把握了系统的演化方向、特点和最终结局,从而也就揭示了平衡态诸物理量之间的动力学关系。

$$\text{由} \begin{cases} \frac{dx}{dt} = 0 \\ \frac{dy}{dt} = 0 \end{cases} \text{求得系统(1)和(2)的定态解:}$$

$$M(0, 0); N(x_0 = \sqrt{\frac{R-A}{KET}}, y_0 = \frac{b(R-A)}{aKET}) \quad (4)$$

3.1 平衡态 $M(0, 0)$

由稳定性分析理论可知^[13]:

- 当 $R > A$ 时,平衡态 M 不稳定,它将向平衡态 N 转化;
- 当 $R < A$ 时,平衡态 M 稳定,即大量土地资源沙化,将导致该地区的土地面积及人口数量的锐减,最终导致系统崩溃。

3.2 平衡态

$$N(x_0 = \sqrt{\frac{R-A}{KET}}, y_0 = \frac{b(R-A)}{aKET})$$

对于平衡态,由稳定性分析理论可知^[13]:

- 当 $br < 2KET, R > A$ 时,平衡态 N 为稳定的焦点,焦点的动力学行为是变振幅的准周期运动;
- 当 $br < 2KET, R > A$ 时,平衡态 N 为稳定的结点,结点的动力学行为是非周期的曲线或直线运动;
- 当 $br < 2KT, R < A$ 时,平衡态 N 为不稳定的焦点;
- 当 $br < 2kET, R < A$ 时,平衡态 N 为不稳定的结点。

通过以上分析,有以下结论:

- (1)当土地资源垦荒率与复垦率之和大于土地沙化率时,且人口数量的增长率 r 小于 $\frac{2KET}{b}$ (以下简称为 F),土地资源与人类活动系统将以变振幅准周期运动的形式向平衡态 N 演化,最终的平衡态是稳定的。变振幅的准周期运动意味着系统的稳定变化,这个态具有实际的研究意义。研究结果和北美、欧洲等发达国家的实际情况是相符的,也和我国的客观实际相符,也就是说科技和经济水平越发达,人口的自然增长率越低,人口数量趋于降低。这是因为,在一定时期内,土地资源生产总量有限,人类生活越富裕,科技越发达,消耗的资源越多,资源总量必然出现下降的趋势,此时必须减少人口数量,才可能减缓资源总量的下降来维持生态平衡。

(2)当土地资源垦荒率与复垦率之和大于土地沙化率时,且人口增长率 r 大于 F ,此时人口的大量增长对我国现代化建设将是一个沉重的负担,不利于社会的稳步发展,与我国现实相悖。尽管整个系统将以非周期的曲线或直线运动的形式向平衡态 N 演化,而且最终的平衡态也是稳定的,但不符合我国的客观实际。

(3)当土地资源垦荒率与复垦率之和小于土地沙化率时,且人口增长率 r 小于 F ,平衡态为不稳定的焦点;如果人口增长率 r 大于 F ,此时平衡态为不稳定的结点。不稳定的态是不现实的,也是不可实现的,实际上土地资源垦荒率与复垦率之和必定大于土地沙化比率,因此和是不可能存在的平衡态。

人类早已习惯于大自然的缓慢的周期运动,过度利用土地资源或低效率使用土地资源等所有减小土地资源承载力的人类活动都将导致土地资源与经济、科技、人口共同组成的人地系统作较快的非周期运动和变化。剧烈的变化,则意味着灾难。

4 对平衡态 N 的讨论

以上分析不难看出平衡态 N 对整个人地系统是非常重要的。为此,有必要对平衡态 N 做进一步的分析和讨论。

平衡态 N 的内涵具有十分重要的理论意义。它表明:
 (1) 平衡态土地资源总量 y 与土地资源 $(R - A)$ 成正比。由于土地历史垦荒率是一定的, 那么土地的复垦率越大, 沙化率越小, 则土地资源总量越多; 土地复垦率越小, 沙化现象越严重, 平衡态土地资源总量就越少; (2) 平衡态土地资源总量与人类科技、经济发展水平的负一次幂成反比。科技越发达、生活越富裕, 地区可利用的土地资源就越少, 因为大量的土地资源被用于非农业建设, 我国东部地区的实际情况与研究结果相吻合; (3) 科技越发达, 经济发展水平越高, 平衡态的人口数量越小, 欧洲国家的人口现状与研究结果符合地很好; (4) 实行计划生育, 降低人口的出生率, 控制土地的沙漠化, 适当提高当代土地的复垦率, 保护环境、协调人与自然的关系对人类自身的发展至关重要。

4.1 土地资源变化对平衡态人口数量的影响

平衡态人口数量

$$x_0 = \frac{R - A}{\sqrt{KET}} = \frac{R_0 + R_c - A}{\sqrt{KET}} = \frac{R_0}{\sqrt{KET}} \left(1 + \frac{R_c - A}{R_0} \right) \quad (5)$$

假设 $D = R_c - A$ (复垦率与荒漠化率之差) 为土地资源的年净增长率。土地的历史累积垦荒率在 80% 以上, 故取参数 $K = 2, ET = 1, R_0 = 0.8$ 进行数值模拟, 其结果如图 1 所示:

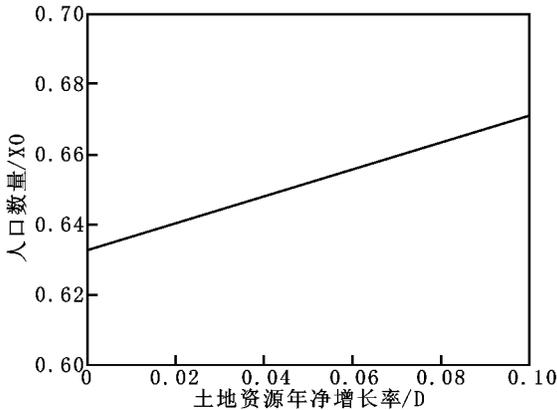


图 1 土地资源年净增长率与其承载的人口数量之间的关系

图 1 表示当 $KET = 2$ 时, 平衡态土地资源净增长率与其承载的人口之间的关系。其中土地资源的年净增长率取值范围为 0% ~ 10%。值得指出的是: 土地资源所能承载的人口数与 $(R - A)$ 成 $1/2$ 次幂关系, 但由于 $(R - A)$ 相对于 KET 是个很小的数 (即未来可能增加的土地资源很少, 且比经济与科技发展速度相比慢的多), 所以图 1 的曲线近似为一直线。这说明未来土地所能承载的人口数的变化将随土地的净增加而近似呈线性增加。

我国无节制的人类活动如砍伐森林、破坏生态等, 已严重威胁了国家的生态安全, 土地沙化率和沙漠化面积不断增大, 加之荒地、废弃地等利用的有限性, 增加土地垦荒率也受到局限。在这种情况下, 土地资源是净减少的, 即 $D = R_c - A < 0$ (图 2)。

图 2 表示当 $KET = 2$, 土地资源净减少率与其承载的人口减少数量之间的关系。其中, 土地资源的年净减少率取值范围为 0% ~ 10%。不难看出未来土地所能承载的人口数量的变化随着土地资源的净减少近似呈线性下降。

从以上土地资源的年净变化与人口数量关系的分析, 我们得到以下结论:

结论 1. 土地资源所能承载的人口数变化与土地资源的净增加值呈正相关、准 (近似) 线性关系, 即随着土地资源复垦比率的提高, 土地资源所能承载的人口总数将近似地线性

增大;

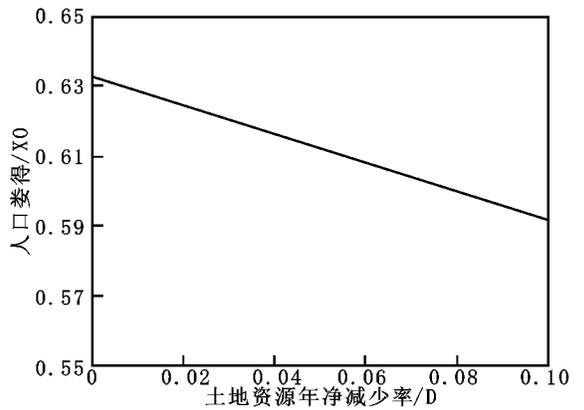


图 2 土地资源年净减少率与其承载人口之间的关系

结论 2. 土地资源所能承载的人口数变化与土地资源的净减少值呈负相关、近似线性关系, 土地资源退化越快, 土地资源所能承载的人口总数将快速的近似线性减少;

结论 3. 对于给定的当代土地复垦率, 沙漠化比率越大, 土地资源所能支撑的人口数就越少。另一方面, 对于给定的土地沙漠化比率, 土地的复垦比率越大, 土地资源所能承载的人口数量就越多。

在土地资源日益紧张、土地压力剧增的今天, 不仅应该应用先进的管理技术和科技力量来提高当代土地资源的复垦率, 而且还要保护生态、协调人类与自然的关系, 降低土地资源的荒漠化率。

4.2 人类活动对平衡态土地资源总量的影响

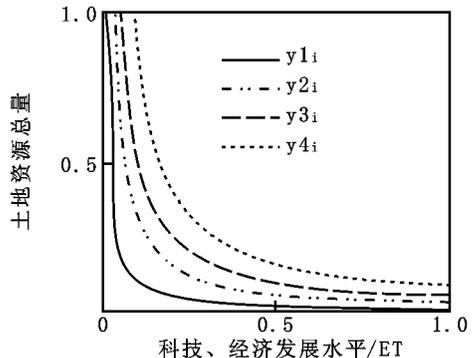


图 3 土地资源总量与科技、经济发展水平之间的关系
 其中实线 (y_1)、虚线 (y_2)、断线 (y_3)、点划线 (y_4) 分别对

应于 $\frac{b(R - A)}{aK}$ 取 0.01, 0.03, 0.05, 0.08 四种情况

图 3 表示科技和经济发展水平变化与平衡态土地资源之间的关系。其中, 横坐标 ET 表示科技、经济发展水平的变化率, 纵坐标表示由于科技和经济发展水平的变化所导致的土地资源总量的变化。其中, 科技和经济发展水平的取值范围为 0% ~ 100%。分析图 3 有以下结论:

结论 1. 平衡态土地资源总量与科技、经济发展水平呈负相关、指数衰减的关系, 即随着科技、经济水平的提高, 土地资源总量将以指数衰减的形式减少;

结论 2. 不同的线段类型, 它的斜率的取值是不一样的, 对于给定的经济、科技发展水平, 土地资源垦荒率及复垦率的和与土地沙化率之差越大 ($R - A$), 平衡态土地资源总量就越多;

结论 3. 科技越发达, 人类生活越富裕的国家、地区的土地资源总量就越低, 这与事实是相符的。我国正处于向工业化社会过渡的时代, 东南沿海地区的经济发展水平较高, 科

技比较发达,同时该地区的土地资源较少,大量的农用地被用于非农业建设,导致土地面积锐减。高科技和高水平的生活必定要占用大量的土地资源。东南沿海地区的实际情况与研究结果相吻合。为了给后代留下“吃饭田”,必须贯彻“合理利用土地,切实保护土地”的基本国策,在经济发展和土地保护之间找到一个平衡点。

5 应用实例与分析检验

为了验证本文所提出的模式的实用性,应用该模式对我国部分省、市(北京、广东、天津、湖北、山东、河北、吉林、新疆、内蒙古)的人均土地面积(1999年)与该区的科技实力的具体情况进行模拟。取 $\frac{b(R-A)}{aK}$ 为 0.01,进行了数值模拟如图 4:

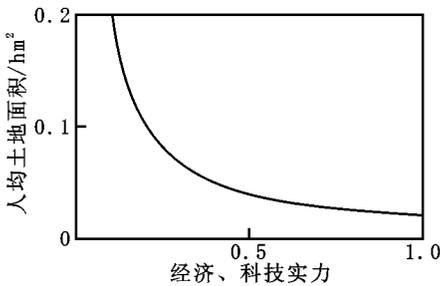


图 4 我国部分地区的科技实力与人均土地面积的动力模拟

图 4 的横坐标表示地区的科技实力,取各个地区的技术市场成交额和地区的研究与开发机构的科研经费筹集情况作为地区的科技实力,纵坐标表示人均土地面积,单位为公顷。图 4 的模拟结果表明,一个地区的科技实力与人均土地面积两者呈现负相关的关系,即随着科技实力的增加,人均土地面积就减少。

图 5 是我国 1999 年人均土地面积与地区的科技实力之比的实际情况^[11]。横坐标表示一个地区的科技与经济实力,纵坐标表示人均土地面积,比较图 4 与图 5,从量上及发展趋势上看,本文的模拟结果与实际情况符合的很好。

以上例子分析说明了本文提出的土地资源与经济科技的非线性动力学关系具有很强的实际应用意义,具有一定的参考价值和指导作用。

参考文献:

[1] 国家统计局. 2003 年中国发展报告[R]. 北京: 中国统计出版社, 2003.
 [2] 佟新. 人口社会学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2000.
 [3] 延军平. 中国西部大开发的战略与对策[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
 [4] 葛全胜, 赵名茶, 郑京韵. 20 世纪中国土地利用变化研究[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 698- 706.
 [5] 李秀彬. 全球环境变化研究核心——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553- 557.
 [6] 陈志刚, 黄贤金. 经济发达地区土地资源可持续利用评价研究——以江苏省江阴市为例[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 33- 38.
 [7] 于兴修, 杨桂山. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题[J]. 地理科学进展, 2002, 21(1): 51- 57.
 [8] 刘彦随, 陈百明. 中国可持续发展问题与土地利用/覆被变化研究[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 324- 330.
 [9] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81- 87.
 [10] 张明. 区域土地利用结构及其驱动因子的分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 381- 384.
 [11] 杨桂山. 长江三角洲近 50 年土地数量变化的过程与驱动机制研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(2): 121- 127.
 [12] 谭淑豪, 曲福田. 经济发达地区土地可持续利用主要矛盾及其成因分析[J]. 中国人口资源与环境, 2001, (4): 78- 81.
 [13] 林振山. 非线性力学与大气科学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993.

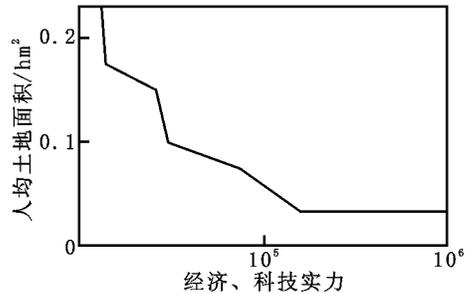


图 5 我国某些地区的科技、经济实力与人均土地面积的实际情况(1999)

6 结论

根据非线性理论, 本文建立了土地资源与人类活动之间的非线性动力学模式, 得到如下结论:

(1) 土地资源净增加值与人口变化之间呈正相关关系, 土地资源净减少值与人口变化之间呈现负相关关系。平衡态土地资源总量与土地垦荒率及复垦率的和与荒漠化率之差成正比, 与经济发展水平、科技发达程度的负一次幂成反比。要增加我国可利用土地资源面积, 必须适当提高土地的复垦率, 严格控制土地的沙漠化。适当提高土地复垦率对于我国土地资源的保护、农业的可持续发展具有重要的现实意义。

(2) 在我国当前全面建设小康社会、向工业化迈进的时代, 一定时期内科技越发达, 人们生活水平越高, 农用地减少得越快, 我国东南部沿海地区的实际情况与本文的研究结果符合地很好。所以, 我国东部地区土地资源保护的巨大, 必须坚决贯彻“合理利用每一寸土地, 切实保护土地”的基本国策。

(3) 扩大土地复垦率可以使现有土地资源承载起更多的人口, 这是一种提高人口承载力的方法。在人地系统中, 提高土地的集约利用率、节约利用土地、应用科技协调人与土地的关系, 都可以在一定程度上提高土地的人口承载力。我国的土地后备资源十分有限, 为了保证土地资源与科技、经济、人口系统的稳定性, 我国必须使人口的增长率控制在一个较低的水平上, 必须贯彻“控制人口数量”的基本国策。同时, 必须加强土地利用管理, 加强土地资源可持续发展的宣传和教育, 增强人们的可持续发展意识, 提高人们节约和保护土地资源的自觉性, 全力治理沙漠, 这对人类的生存与发展至关重要。