

# 基于 EMD 分析的山东省土地承载力的动力学预测

张衍广, 林振山, 梁仁君

(南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要: 利用经验模态分解 (EMD) 方法对 1949 年以来山东省耕地变化和粮食生产波动的周期进行分解, 运用动力学建模方法对山东省未来 20 年耕地数量和粮食产量进行数值模拟和预测。结果表明: 山东省粮食生产存在 3.5、7.5、10 和 20 年左右的 4 个周期; 山东省耕地面积存在 9.12、35 和 57 年左右的 4 个周期。山东省粮食生产量呈上升趋势, 由于粮食种植占用土地比重过大, 易引发生态问题。调整农业种植结构, 缩减粮食种植比重, 易引发粮食安全问题。

关键词: 土地承载力; EMD; 动力学模型; 预测; 山东省

中图分类号: G40/N93 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2008)02-0219-05

人类进入 21 世纪, 伴随着经济全球化的加快, 中国经济的持续发展进入关键时期<sup>[1]</sup>。粮食安全是 21 世纪人类将面临的最严峻的挑战之一<sup>[2]</sup>, 耕地是粮食安全保障的根基<sup>[3]</sup>。中国的土地承载力研究兴起于 1980 年, 并产生了一批代表性的研究成果<sup>[4-12]</sup>。

本文从 EMD 分析的基础出发, 利用动力学建模方法, 对山东省土地资源人口承载力的动态变化特征进行了分析和预测, 以期引起社会关注, 实现经济、环境和社会的可持续发展。

经验模态分解<sup>[13]</sup> (empirical mode decomposition, EMD) 方法 (平稳化过程) 是一种全新的处理非平稳数据序列的方法, 经过平稳化处理后, 原始数据即可由本征模函数 (intrinsic mode function, MF) 分量以及一个均值或趋势项表示:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n C_j(t) + r_n(t) \quad (1)$$

本文用镜像对称延伸方法<sup>[14]</sup>较好地解决了边界对于 EMD 分解过程中的上冲和下冲现象。

## 1 山东省未来 20 年人口的预测

根据《山东年鉴》的 1996~2005 年山东省人口统计数据, 计算出山东省人口的年平均增长率为 0.607%。以 2005 年为基础, 利用模型 (2) 来预测 10 年来山东省的人口, 然后计算出年平均误差为 -0.109%, 修正后的山东省人口的年均增长率为 0.607%。根据修正后的人口增长率, 以 2005 年人口 9248 万人为初值预测山东省未来年的人口规模 (表 1)。

$$\frac{dx}{dt} = rx \quad (2)$$

式中,  $x$  代表变量 (万人);  $t$  代表时间 (a);  $r$  代表变量增长率。

## 2 土地资源人口承载力预测

中国科学院自然资源综合考察委员会为土地资源人口承载力下的定义是: “在一定生产条件下土地资源的生产能力和一定生活水平下所承载的

表 1 山东省未来 20 年人口的预测 (万人)

Table 1 Predicted population in future 20 years in Shandong Province ( $\times 10^4$ )

年份 (年)	2008	2010	2011	2012	2015	2018	2020	2022	2024	2025
人口	9418	9533	9591	9650	9827	10010	10130	10250	10380	10440

收稿日期: 2007-04-12 修订日期: 2007-08-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40371044)、国家“211”工程二期重大项目资助。

作者简介: 张衍广 (1973-), 男, 山东郯城人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事生态资源研究。E-mail: yanguangz@163.com

人口限度”。因此,土地资源的人口承载力实际上就是特定区域的粮食产量在一定的消费水准下能够承载人口的最大限度,测算人口承载力需要首先预测粮食产量和确定生活消费水准,然后与预测的人口数量进行对比。

### 2.1 山东省土地人口承载力的预测

1) 方案 1: 基于粮食生产趋势的预测。根据《山东省 2005 年统计年鉴》统计数据,对山东省粮食波动进行 EMD 分解(图 1)。

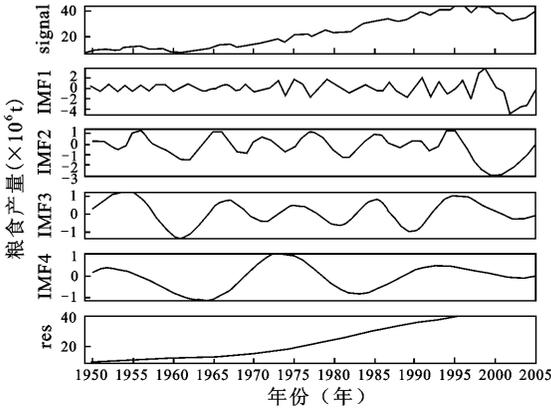


图 1 山东省粮食产量变化的 MF 分量及其趋势量图

Fig. 1 The MF and residual trend R of change of grain output in Shandong Province

图 1 的第一幅图为山东省 1949~ 2005 年的

粮食产量分布曲线, res 为 EMD 提取后的剩余分量, signal 为原始数据。从中可见,自 1949 年以来,山东省粮食产量整体上是波动中不断上升的, MF1 分量表示的是一个 3.5 年的准周期性震荡,而 MF2、MF3 和 MF4 分量则分别表示的是 7.5 年、10 年和 20 年的周期性波动,但是它们对山东省粮食产量的方差贡献率都不大,而以趋势量的方差贡献率为最大,高达 97.25%,从整体上看,山东省粮食生产平均波动周期为 7 年。按“谷-谷”法划分,将 1952~ 1999 年,山东省粮食生产分为 8 个波动周期,即 1952~ 1957 年(5 年)、1958~ 1965 年(8 年)、1966~ 1974 年(9 年)、1975~ 1979 年(5 年)、1980~ 1988 年(9 年)、1989~ 1992 年(4 年)、1993~ 1999 年(7 年)、2000 年以后。通过对山东省建国以来粮食发展周期性特征分析,可看出全省粮食发展总体呈增长势头,年均增长 3.106%。

根据 EMD 分析,由于各 MF 分量的方差贡献率较小,分别为 1.39%, 0.77%, 0.33%, 0.25%, 所以省略不计。1949~ 2005 年间,山东省粮食平均增长率为 3.106%,以 1949 年粮食产量  $870 \times 10^4$  t 为初值,利用所建的动力学模型(5)进行趋势预测,平均误差 -2.372%,修正后山东省粮食平均增长率 3.0225%。以 2005 年粮食产量  $3917.4 \times 10^4$  t 为初值,再次利用所建的动力学模型(5),对山东省未来 20 年的粮食产量进行预测(表 2)。

表 2 山东省未来 20 年的粮食产量变化预测值 ( $10^4$  t)

Table 2 Predicted cultivated grain output in future 20 years in Shandong Province ( $\times 10^4$  t)

年份	2008	2010	2011	2012	2015	2018	2020	2022	2024	2025
粮食产量	4289	4556	4696	4840	5300	5803	6164	6549	6957	7170

2) 方案 2 基于耕地规划目标的粮食产量预测。根据 2005 年《山东省统计年鉴》的数据,首先对建国以来山东省耕地数量动态变化趋势进行 EMD 分析,提取 MF 分量(图 2)。

图 2 看出,20 世纪 50 年代以来,山东省耕地面积经历了从增长到减少变化过程。山东省耕地面积存在 9.12、37.55 年周期,其中 37.55 年的中长周期可看作是 9.12 年两个短周期叠加。1949~ 2000 年全省耕地净减少  $208.8 \times 10^4$   $hm^2$ 。图 1 看出,全省耕地总量在 1955 年达高峰后,总体趋势是减少,但也有几个明显波动期。从 1949~ 2005 年耕地面积变化过程可看出:① 1949~ 1955 年,全省耕地面积呈现增加趋势,净增耕地  $51.62 \times 10^4$

$hm^2$ ; ② 1956~ 1964 年耕地总量波动幅度较大,大致可分为两个阶段:第一阶段 1956~ 1961 年,耕地总量大幅度下降,净减少  $126.2 \times 10^4$   $hm^2$ ,此时期净减少量占全省 1949~ 2000 年耕地净减少量的 60.4%;第二阶段 1962~ 1964 年,耕地总量出现缓慢增加趋势;③ 1965 年至今,耕地总量呈持续下降趋势,但下降幅度又存在明显不同,大致可分为四个阶段:第一阶段(1965~ 1984 年),工业建设占用大量耕地,年均耕地净减少  $4.4 \times 10^4$   $hm^2$ ;第二阶段(1985~ 1996 年),出现“开发区热、房地产热”,耕地面积急剧减少,年均耕地净减少  $3.3 \times 10^4$   $hm^2$ ;第三阶段(1997~ 1999 年),年平均耕地净减少了  $1.2 \times 10^4$   $hm^2$ ,减少幅度明显地缩小;第四阶

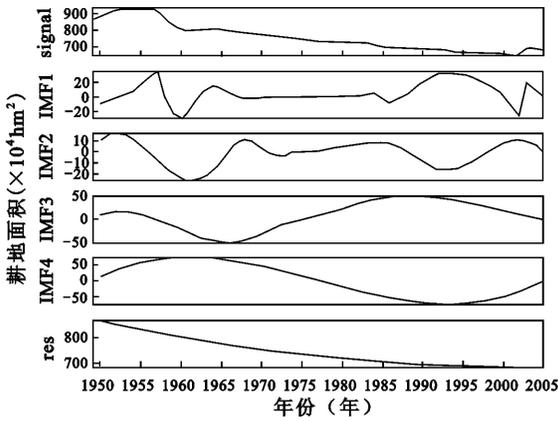


图 2 山东省耕地面积变化的 MF 分量及其趋势分量

Fig 2 The MF and residual trend R of change of cultivated areas in Shandong Province

段 (2000~2003年), 一些地方政府擅自扩大建设用地, 年均耕地净减少  $8.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

从 MED 分析的中长期的尺度看 (37、55 年周期), 山东省耕地面积的减少大约会延续 10 年 (37 年周期), 据此推算, 到 2015 年前后, 山东省经济增长的耕地代价性损失将大大减少, 耕地数量将维持在一个相对稳定水平, 甚至耕地会有少许增加。

根据 EMD 提取的事物变化的 MF 分量, 建立动力学模型:

$$C_1(t) = A_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{T_1} + \varphi_1\right) + x_1,$$

表 3 山东省未来 20 年耕地面积变化预测值 ( $10^4 \text{ hm}^2$ )

Table 3 Predicted cultivated areas in future 20 years in Shandong Province ( $\times 10^4 \text{ ha}$ )

年份	2008	2010	2011	2012	2015	2018	2020	2022	2024	2025
耕地总量	615.1	604.6	600.4	597.1	592.5	595.3	600.1	605.5	610.1	611.5

$$x(t) = 50 \sin\frac{2\pi t}{55} - 50 \sin\frac{2\pi t}{37} + 670e^{-0.00612t} \quad (6)$$

根据山东省耕地利用结构规划的目标, 粮食与

表 4 山东省未来 20 年粮食的产量变化预测值 ( $10^4 \text{ t}$ )

Table 4 Predicted grain yields in future 20 years in Shandong Province ( $\times 10^4 \text{ t}$ )

年份(年)	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2021	2023	2025
粮食产量	3809.7	3737.9	3682.1	3646.5	3633.7	3641.0	3664.3	3696.8	3728.7	3750.2

### 2.2 时间阶段与生活消费水准确定

土地资源的生产能力随着时间的变化而变化, 而一定时期的土地人口承载力与生活消费水准相联系。因此, 先确定时间阶段和生活消费水准。

时间阶段大体分 2010、2015、2020 和 2025 年。

$$\wedge, C_j(t) = A_j \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j} + \varphi_j\right) + x_j$$

$$\frac{dr_n(t)}{dt} = rx_r, \text{ 积分得: } r_n(t) = x_r e^{rt} \quad (3)$$

由 EMD 分解原理得:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n \left[ A_j \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j} + \varphi_j\right) + x_j \right] + x_r e^{rt} \quad (4)$$

式中,  $C_j(t)$  代表初始总量;  $x_j$  代表各初始量 MF 分量;  $x_r$  代表趋势项初始量;  $t$  代表时间;  $r$  代表耕地增长率;  $T_j$  代表周期;  $A_j$  代表振幅;  $\varphi_j$  代表相位。

根据统计数据计算, 山东省耕地年平均变化率为  $-0.57\%$ , 根据 EMD 图像计算出山东省耕地的 EMD 各 MF 分量的周期、振幅、相位。由于 MF1 和 MF2 所占的权重比较小 ( $4.42\%$ ), 故忽略不计, 取 37 周年 (方差贡献率为  $12.58\%$ )、55 周年 (方差贡献率为  $38.15\%$ ) 两个 MF 分量和趋势项 (方差贡献率为  $44.85\%$ ) 进行预测。所以, 以 1949 年的  $872.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$  为初值, 利用模型 (5), 得到:

$$x(t) = 50 \sin\frac{2\pi t}{37} + 50 \sin\frac{2\pi t}{55} + 872.7e^{-0.0057t} \quad (5)$$

利用模型 (5) 对山东省过去耕地面积变化拟合, 平均误差  $-7.369\%$ , 修正后变化率  $-0.612\%$ 。利用模型 (6) 预测出山东省耕地的变化值见表 3。

经济作物播种的面积之比为 51:49。结合山东省的现实情况, 假设山东省未来粮食的单位产量为  $6500 \text{ kg/hm}^2$ , 粮食复种指数按  $185\%$ , 计算出山东省未来粮食的产量变化 (表 4)。

生活消费水准: 参考国内外食物消费变化趋势, 估算山东省未来不同时间人均粮食需求标准, 作为土地承载力研究中消费水平 (主要是物质生活水准) 的主要依据。山东省近年来人均占有粮食超过  $400 \text{ kg}$ 。如果预计在 2010 年前后达到小康

型生活水平,需以人均 400 kg 粮食的消费标准计算,基于以上分析,确定 2010、2015 和 2020 年以后人均消费粮食依次为 400、450 和 500 kg(包括直接消费和间接消费)。

### 2.3 人口承载力的计算

方案 1 对山东省粮食产量预测的粮食年平均增长率是根据多年的历史趋势得出的,而影响粮食总产量的变化主要取决于面积和单产量各因子<sup>[15]</sup>。所以,要达到本文的预测结果,就要以实现上面的两个条件的提高为保障。如果粮食单产按 6 500 kg/hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup> 计算,复种指数按 185% 计算,按 95% 的粮食供给保障率,根据预测的粮食产量,粮食种植面积见表 5。尽管耕地总量可以满足预测

粮食的生产用地需求,所生产的粮食也远远满足了山东省的粮食需求,但粮食种植占用耕地的比重太大,大大缩减了经济作物用地和林地,不符合未来农业发展的要求,也不利于农业的可持续发展。

根据方案 2 预测出的粮食产量和小康社会不同阶段人均粮食消费指标,即可推算出山东省土地人口承载力(表 5)。山东省在进入小康社会后,随着人口的增加、生活消费档次的提高,对粮食的需求日益扩大,而土地资源可承载的人口数量日渐减少,超载的人口也就越多。如何加大山东土地资源的人口承载力,解决粮食需求与供给之间的矛盾,这一关键性的问题需要我们从现在开始就着手解决。

表 5 山东土地资源人口承载力预测值

Table 5 Land resources carrying capacity in Shandong Province

年份(年)	耕地总量 (10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )	需要耕地 (10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )	粮食产量预测 (10 <sup>4</sup> t)	人均消费粮食 (kg/a)	可承载人口 (10 <sup>4</sup> 人)	人口预测 (10 <sup>4</sup> 人)	超载人口 (10 <sup>4</sup> 人)
方案 1	2010	604.6	378.9	4556	400	11989	- 2456
	2015	592.5	440.7	5300	450	12397	- 2570
	2020	600.1	512.6	6164	500	12976	- 2846
	2025	611.5	596.3	7170	550	13722	- 3282
方案 2	2010	604.6	308.3	3707.9	400	9757	- 224
	2015	592.5	302.2	3633.5	450	8499	1328
	2020	600.1	306.1	3680.3	500	7748	2382
	2025	611.5	311.9	3750.2	550	7177	3263

## 3 对 策

### 3.1 合理利用资源,稳定相对土地资源承载力

要培育资源节约理念,包括资源的危机观念、人与自然的共生观念、资源利用效率的观念,特别是提高土地生产率<sup>[10]</sup>。强化耕地保护意识和宏观保护措施,在保持耕地总量动态平衡的前提下,使相对土地资源承载力保持稳定。统筹兼顾,合理安排各项建设用地,充分做到对基本农田的保护,实行严格的土地用途管制。同时,要建立耕地占用补偿制度,建立城镇和工业建设用地的集约化机制。

### 3.2 集约利用土地,提高土地质量

进行土地整理工作,优化用地结构,提高土地利用效率,充分发掘先期土地的潜力;加大中低产田的改造力度,发展农田水利建设,鼓励投资,提高粮食生产能力。

### 3.3 严格控制人口增长,协调人地关系

人口增长是导致耕地减少,加剧人地关系矛盾

的主要原因之一。控制人口增长,一方面可以减轻对耕地占有的压力,还可以减少人口对粮食的需求,从而减轻对耕地的需求。

## 4 结论与讨论

综上所述可知,在可预见的未来,山东省粮食供求关系依然紧张,原因:一是全省总人口每年增长 30 多万的趋势不会变;二是如果不采取切实可行的措施保护耕地,全省耕地面积特别是人均耕地面积缩减的趋势不会变;三是随着小康社会来临,全省粮食(包括谷物及经济作物)需求量不断增加的趋势不会变。因此,决定了山东省要保证足够数量的耕地及致力于提高耕地的粮食生产能力。

本研究是在分析现有历史数据的基础上进行的,所以得到的结论应该是自然条件及社会经济条件相对稳定下的结果,所以一旦条件发生变化,预测结果就可能偏离实际;任何研究方法都有局限性,EMD 和动力学也不例外,由于本研究是 EMD

和动力学相结合在土地承载力方面的首次应用,方法和模型还有待进一步发展和完善。

## 参考文献:

- [1] 刘彦随,吴传钧,鲁奇. 21世纪中国农业与农村可持续发展方向和策略[J]. 地理科学, 2002, 22(4): 385~389
- [2] 程叶青,张平宇. 中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的相应[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 513~520.
- [3] 葛向东,张侠,彭补拙,等. 耕地存量临界警戒和耕地非农占用成本的警度修正方法初探[J]. 地理科学, 2002, 22(2): 166~170.
- [4] 《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》课题组. 中国土地资源生产能力及人口承载力研究[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1991: 1~125
- [5] 郑振源. 中国土地人口承载潜力研究[J]. 中国土地科学, 1996, 10(5): 32~35
- [6] 陈百明(主编). 中国农业资源综合生产能力与人口承载力[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [7] 李月臣,刘春霞. 北方13省土地利用覆盖动态变化分析[J]. 地理科学, 2007, 27(1): 45~53
- [8] 陈雯,孙伟,段学军,等. 以生态-经济为导向的江苏省土地开发适宜性分区[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 312~317.
- [9] 殷培红,方修琦,马玉玲,等. 21世纪初中国粮食短缺地区的空间格局和区域差异[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 463~472.
- [10] 吴文斌,杨鹏,柴崎亮介,等. 基于 Agent的土地利用/土地覆盖变化模型的研究进展[J]. 地理科学, 2007, 27(4): 573~578.
- [11] 王国霞,鲁奇. 中国近期农村人口迁移态势研究[J]. 地理科学, 2007, 27(5): 630~635.
- [12] 郑荣宝,刘毅华,董玉祥. 广州市土地安全预警系统与 RBF 评估模型的构建[J]. 地理科学, 2007, 27(6): 774~778.
- [13] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary series analysis [J]. Proc R Soc Lond A, 1998, 45(4): 899~995
- [14] 林振山,汪曙光. 近四百年北半球气温变化的分析: EMD 方法的应用[J]. 热带气象学报, 2004, 20(2): 90~96
- [15] 党安荣,阎守邕,周艺. 中国粮食生产发展的时序变化研究[J]. 地理研究, 1998, 17(3): 242~247
- [16] 蔡运龙. 中国农村转型与耕地保护机制[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 2~6

## EMD-based Prediction on Dynamics of Land Carrying Capacity in Shandong Province

ZHANG Yan-Guang LIN Zhen-Shan LIANG Ren-Jun

(College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210046)

**Abstract** Land resources carrying capacity security is a very important issue which has a significant influence on the social stability of both a country and a region. Meanwhile, the fluctuation of grain output has a close relation with land resources carrying capacity security. Thereby, the researches on the periods, amplitudes and characteristics of the fluctuation of grain output and its causes are propitious to reduce the intensity of the fluctuation, to eliminate unfavorable factors and further to keep the stability of grain output to insure land resources carrying capacity security. Empirical Mode Decomposition (EMD) is a powerful method for analyzing the nonlinear and non-stationary time series. Therefore EMD method was introduced to study the fluctuation of grain production in Shandong Province, and the data have been decomposed into two imfs and a residual trend term. The conclusions are drawn. The fluctuations of grain output have 3.5-year, 7.5-year, 10-year and 20-year time scales. Shown from the residual trend term, the grain output has increased continually since 1949. By using dynamics modeling method, grain yields in future 20 years were simulated. Looking from the grain yield that the Shandong Province grain productivity assumes the trend of escalation and according to the existing farming inventory and the historical trend of development that there is not the grain short problem in Shandong Province. But we cannot depend upon the expansion of sown area to increase the grain yield to guard against the initiation ecological questions.

**Key words** land carrying capacity, EMD, dynamics modeling, prediction, Shandong Province