

耕地数量波动及驱动力多时间尺度分析*

)) 以江苏省为例

孙 燕¹ 金晓斌¹ 张云鹏² 周寅康^{1*}

(1 南京大学国土资源与旅游学系, 南京 210093)

(2 南京工业大学土木工程学院, 南京 210009)

摘 要 将小波诊断技术应用于 1978 年以来江苏省耕地数量波动及其影响因素的多时间尺度分析, 揭示了耕地数量波动周期及其与影响因子的相互关系, 同时对江苏省耕地数量波动趋势进行了定性预测。研究结果表明: (1) 江苏省耕地面积波动主要存在 7 a、15 a 和 27 a 的特征时间尺度, 在 27 a 的特征时间尺度上, 对江苏省耕地数量起控制作用的两种因素为 GDP 和人口数量, 而在 15 a 的特征时间尺度上, 则主要为 GDP, 并且两种因素在不同时间尺度下对耕地数量的影响均为负面效应; (2) 江苏省耕地数量将继续减少, 但随着国家对耕地快速减少问题的重视和一系列土地调控政策的颁布与实施, 减少速率将有所下降。

关键词 耕地; 小波; 驱动力; 多时间尺度**中图分类号** F 301121 **文献标识码** A

耕地不仅是保障粮食安全的重要基础, 而且是维护人类生存的根基。20 世纪 90 年代以来, 耕地数量变化的研究受到越来越多的关注, 成为全球变化研究的核心领域之一^[1]。但多是基于环境影响的土地利用/覆被变化或区域性综合研究, 且以定性为主^[2-3]。近年来, 一些学者开始重视耕地变化趋势及其与驱动力因素之间的数理关系的研究, 并取得了许多成果^[3-11], 但这些研究多是基于传统的统计方法, 即是单分辨的, 而耕地面积的波动是非线性和非平稳的, 而且是多尺度的^[12]。小波是 20 世纪 90 年代发展起来的一种多分辨(多尺度)数学分析工具, 它可以从波动序列中提取出多个不同尺度的波动周期, 反映它们的变化趋势, 目前已经被广泛应用于信号处理、气候诊断、模式识别、数值分析等众多非线性领域^[12-15]。

江苏省是我国人口最密集、经济增长最快和土地集约化利用程度最高的地区之一, 经济快速发展加剧的人地矛盾已经成为区域可持续发展面临的一个重要问题, 研究该区域的耕地变化将具有良好的典型性和借鉴启示作用^[4]。本文将

小波诊断技术应用于 1978 年以来江苏省耕地数量波动及其影响因素的多时间尺度分析, 以期揭示耕地数量波动周期及其与影响因子的相互关系, 同时对江苏省耕地数量波动趋势进行定性预测。

1 材料与方法

1.1 资料来源与处理

表 1 为 1978 年以来江苏省耕地面积统计, 数据来源于历年 5 江苏省统计年鉴 6。由于统计口径不一致, 造成 1996 年前后数据发生跳跃, 为了有利于分析, 本文参照文献 [8] 的方法 (即设一个虚拟变量, 1978 年至 1995 年的数值为 0, 1996 年至 2004 年的数值为 1; 以 1978 年至 2004 年耕地面积为因变量, 自变量为年份和虚拟变量, 进行回归, 得到回归方程: $y = 32\ 231\ 638 - 131\ 920x_1 + 5781\ 098x_2$), 对数据进行了处理, 结果如图 1。本文的分析研究均采用处理后的数据。

从图中可以看出, 江苏省耕地数量下降趋势明

* 南京大学 985 二期/城市化与城市科学研究 0 项目和中国土地勘测规划院/基于新一轮土地利用规划修编的基本农田划区定界研究 0 项目联合资助

- 通讯作者: 周寅康 (1962~), 男, 江苏吴县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 土地管理与房地产估价、地理学非线性研究

作者简介: 孙 燕 (1981~), 女, 山东淄博人, 博士研究生, 主要从事土地利用与规划、资源与环境方面的研究

收稿日期: 2007- 04- 12 收到修改稿日期: 2007- 11- 20

显,并且个别年份有所波动。1978年至1995年期间耕地数量稳步下降,到1995年下降至一个最低

点;1996年耕地数量有所增加,以后年份逐年下降,2002年前后下降速率突然变大。

表 1 江苏省 1978年以来耕地面积统计

Table 1 Variation of acreage of cultivated land in Jiangsu Province from 1978

年份 Year	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
耕地面积 Area of cultivated land (@10 ⁴ hm ²)	4661.1	4651.0	4641.1	4631.7	4631.1	4631.0	4621.1	4601.4	4591.0
年份 Year	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
耕地面积 Area of cultivated land (@10 ⁴ hm ²)	4581.0	4561.9	4561.2	4551.8	4551.0	4521.2	4491.6	4461.4	4441.8
年份 Year	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
耕地面积 Area of cultivated land (@10 ⁴ hm ²)	5061.2	5051.6	5031.7	5021.4	5001.9	4971.4	4901.5	4851.8	4791.5

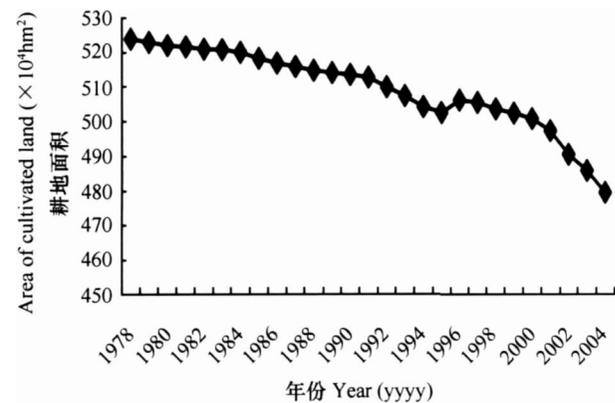


图 1 数据经处理的 1978年以来江苏省耕地面积变化情况
Fig 1 Variation of cultivated land in Jiangsu Province from 1978

112 研究方法

11211 小波分析原理 小波分析是 20 世纪 90 年代发展起来的一种数学分析工具,它能将时间序列分解成交织在一起的多时间尺度成分,并对不同的尺度采用不同的取样步长从而能不断地聚焦到任意的细节,特别适合将隐含在时间序列中各种随时间变化的周期振荡清楚地显现出来,同时对其未来的演变趋势也可以进行定性的估计^[16,17]。此外,小波变换具有良好的局域性,特别适合于分析函数的局部可微性,并发现他的奇异性和刻画奇异性的可能特征。小波系数图的零点对应于数学上的拐点,可以用来诊断资料的突变点^[14]。突变点可以反映时间序列背后隐藏的影响因素,有助于揭示信号波动的驱动机制^[12]。主要数学原理为:

基本小波函数为 $W(x)$, 标度和平移因子分别为

a 和 b 则小波变换基底定义为

$$W_b(x) = |a|^{-\frac{1}{2}} W\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

式中, 标度因子 a 反映了小波的周期长度, 而平移因子 b 为时间参数, 反映了时间上相对于 x 的平移。

函数 $f(x)$ 的小波变换定义为

$$W_{a,b}(f) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} W\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx$$

若用内积形式则有

$$W_{a,b}(f) = \langle f(x), W_b(x) \rangle$$

所以一维连续小波变换将一维信号变换到了在时(空)坐标位置 b 和尺度(时间周期或空间范围) a 上具有相对振幅 $W_{a,b}(f)$ 变化的二维平面 (a, b) 上。其对应于 $f(x)$ 在函数族 $W_b(x)$ 上的分解, 这一分解须满足如下可容性条件:

$$C_w = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|W(x)|^2}{x} dx < \infty \quad \text{或} \quad \int_{-\infty}^{\infty} W(x) dx = 0$$

小波分辨胞随标度因子 a 的变化而改变, 当 a 较小时, 频域分辨较差, 而时域分辨较好; 当 a 增大时, 频域分辨率增加, 而时域分辨率则减小。

11212 数据归一化原理 数据的归一化处理就是把需要处理的数据通过某种算法进行处理, 将其限制在一定范围内, 这样做的目的是归纳统一样本的统计分布性, 便于比较计算, 加快运算速度。本文在 Matlab 7.10 的软件环境下, 调用 `premmx` 函数对 1978 年至 2004 年的 GDP、人口与耕地数量进行归一化处理, 将数据统一归一到 $[-1, 1]$ 之间, 其计算公式为:

$P_n = 2 @ (P - \min P) / (\max P - \min P) - 1$
 式中, P_n 为归一化后的向量; P 为输入向量的原始值;
 $\min P$ 、 $\max P$ 分别为输入向量的最小值和最大值。

2 结果分析

2.1 多时间尺度分析

对江苏省 1978年以来的耕地面积数据进行小

波分析,并提取出不同时间尺度的周期信息,用于研究江苏省耕地面积波动的特征时间尺度和周期特征,图 2是江苏省 1978年至 2004年的耕地面积小波系数实部等值线图。从图 2可以看出,江苏省耕地面积波动主要存在 7a 15a和 27a的特征时间尺度。在 20世纪 90年代中期以前,主要表现为 15a和 27a的特征时间尺度;在 20世纪 90年代中期以后主要表现为 7a 15a和 27a的特征时间尺度。

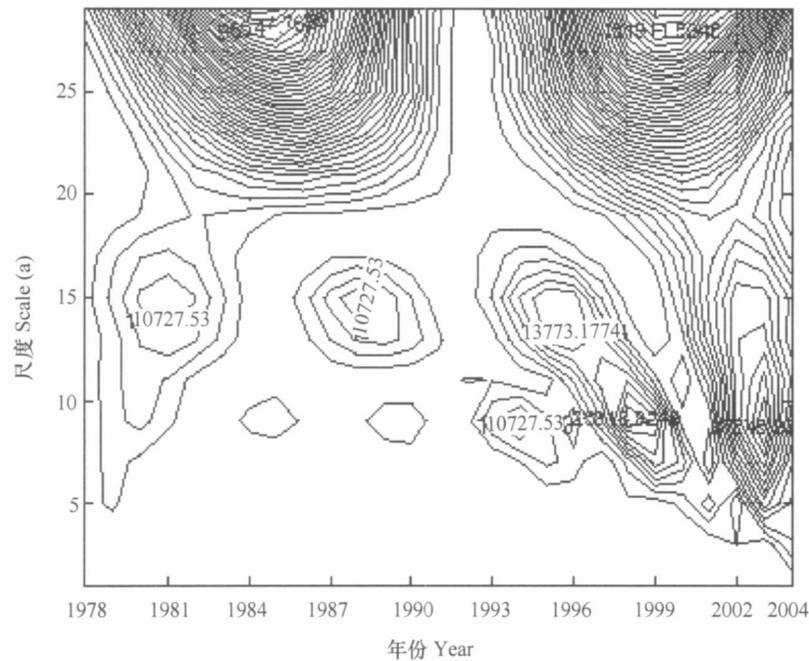


图 2 江苏省耕地面积的 Morlet小波系数实部等值线图

Fig 2 Contour map of the real part of the Morlet wavelet coefficients of the cultivated area in Jiangsu Province

对江苏省耕地面积进行子波变换,提取出了 7a 15a和 27a不同尺度下的小波系数,如图 3。在 7a的特征时间尺度上,江苏省耕地数量大致经历了 3个周期的波动: 1978年至 1985年为耕地数量增加期, 1986年至 1988年为减少期, 1989年至 1993年为增加期, 1994年至 1996年为减少期, 1997年至 2001年为增加期, 2001年至 2004年为减少期,其中,突变点分布在 1986年、1989年、1994年、1996年、2001年;在 15a的特征时间尺度上,江苏省耕地数量大致经历了 1个周期的波动: 1978年至 1994年为耕地数量增加期, 1995年至 2004年为减少期,突变点为 1995年;在 27a的特征时间尺度上,江苏省耕地数量大致经历了 1个周期的波动, 1978年至 1992年为耕地数量增加期, 1993年至 2004年为耕地数量减少期,突变点分布在 1993年。

从耕地的三种不同的特征时间尺度下的小波

变换系数曲线趋势来看,江苏省耕地数量目前均处于波谷阶段,未来一段时间内耕地数量将继续下降,但是从波动形态来看,可以预期耕地数量虽然将进一步减少,但是速率将有所下降。

2.1.2 驱动因子分析

根据对江苏省耕地数量变化的多时间尺度分析,其突变点主要分布在 1986年、1989年、1994年、1996年、2001年前后。分析这些突变点的背景,将有助于揭示江苏省耕地变化驱动力。

1984年国家决定开放 14个沿海城市,并设立 4个经济特区和 14个经济技术开发区,沿海开放战略的实施,带动了江苏省经济的快速增长,加之本区乡镇企业的蓬勃发展,导致 1985年前后耕地出现流失高峰, 1986年至 1988年江苏省耕地数量处于减少期,并于 1987年左右到达波谷。1992年国家沿江开发战略的实施,引起长江三角洲地区前所未有

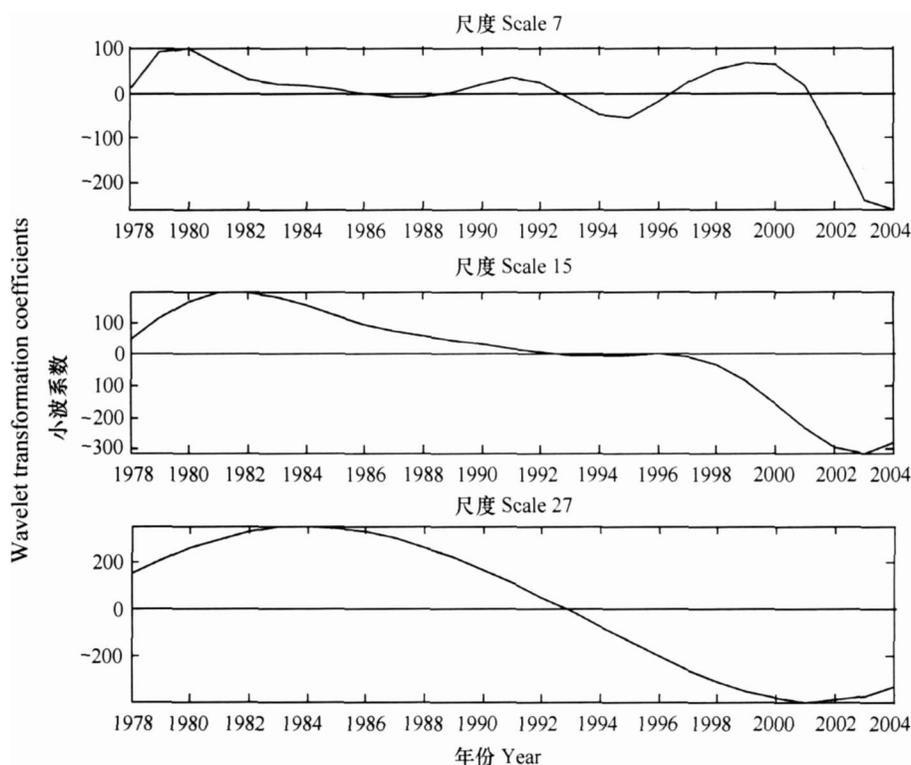


图 3 江苏省耕地面积的 7a、15a 和 27a 特征时间尺度小波变换系数

Fig 3 Wavelet transformation coefficients of cultivated areas with in 7, 15 and 27 years in Jiangsu Province

的开发区建设热潮,盲目圈占大量耕地的现象,导致了 1994 年至 1996 年江苏省耕地数量处于减少期。1996 年国家实施的耕地总量动态平衡战略,有效遏制耕地迅速减少的势头,1997 年至 2001 年江苏省耕地数量波动位于增加期。

江苏省优越的自然条件和雄厚的经济实力,决定了江苏省耕地数量变化的驱动力很少受自然因素的影响,主要受政策、经济、人口增长等因素影响^[3,4],通过以上突变点背景分析发现,江苏省耕地数量变化的数次突变均与国家的重大宏观政策有关。而政策的制定很大程度上受到经济、人口等经济社会因素影响。那么经济和人口的增长是怎么影响耕地数量波动的呢?以往的研究都是通过对耕地数量和影响因素通过回归分析、相关分析等统计方法来确定他们的影响关系^[3-9,18],然而无法明确地给出在不同尺度的周期上,哪个影响因素在起控制作用。本研究选取 GDP 和人口数量两种因素进行小波分解,以确定不同时间尺度波动的控制因素。同时由于它们的量纲与耕地数量的不一样,因此对三者的统计数据进行归一化后分别进行子波分析。

通过小波分析,江苏省改革开放以来 GDP 的特

征时间尺度为 15a 和 27a 而人口主要为 27a 的尺度。耕地、GDP 和人口均存在 27a 的特征时间尺度,耕地和 GDP 共同存在 15a 的特征时间尺度。因此,可以确定在 27a 的时间尺度上,江苏省耕地数量受 GDP 和人口两种因素的影响;而在 15a 的时间尺度上,则主要受 GDP 的影响。而且这两种因素与耕地的关系如图 4 所示,耕地的波峰恰好对应着 GDP 和人口的波谷,因此可以确定两种因素在不同时间尺度下对耕地数量的影响均为负面效应,与前人的研究成果^[3,4]基本一致。

从图 4 中可以看出,每一轮的 GDP 的大幅度增长都伴随着新一轮的耕地面积的滑坡,GDP 的波峰时期,恰好对应着耕地面积的波谷时期^[12]。1978 年,江苏省 GDP 为 24912 亿元,2004 年达 15 512 亿元,20a 以来增加 62 倍。GDP 是土地开发利用活动中所得效益的价值量度,是土地对人类的经济奉献,江苏省快速增长的 GDP,必然要求全省土地利用向着高效率、高产出的方向转化,土地利用的类型、结构、方式、程度等因之出现优化、重组变动,相应地,耕地数量出现较大幅度流入流出的时空变化。改革开放以来,江苏省人口持续增加,1978 年

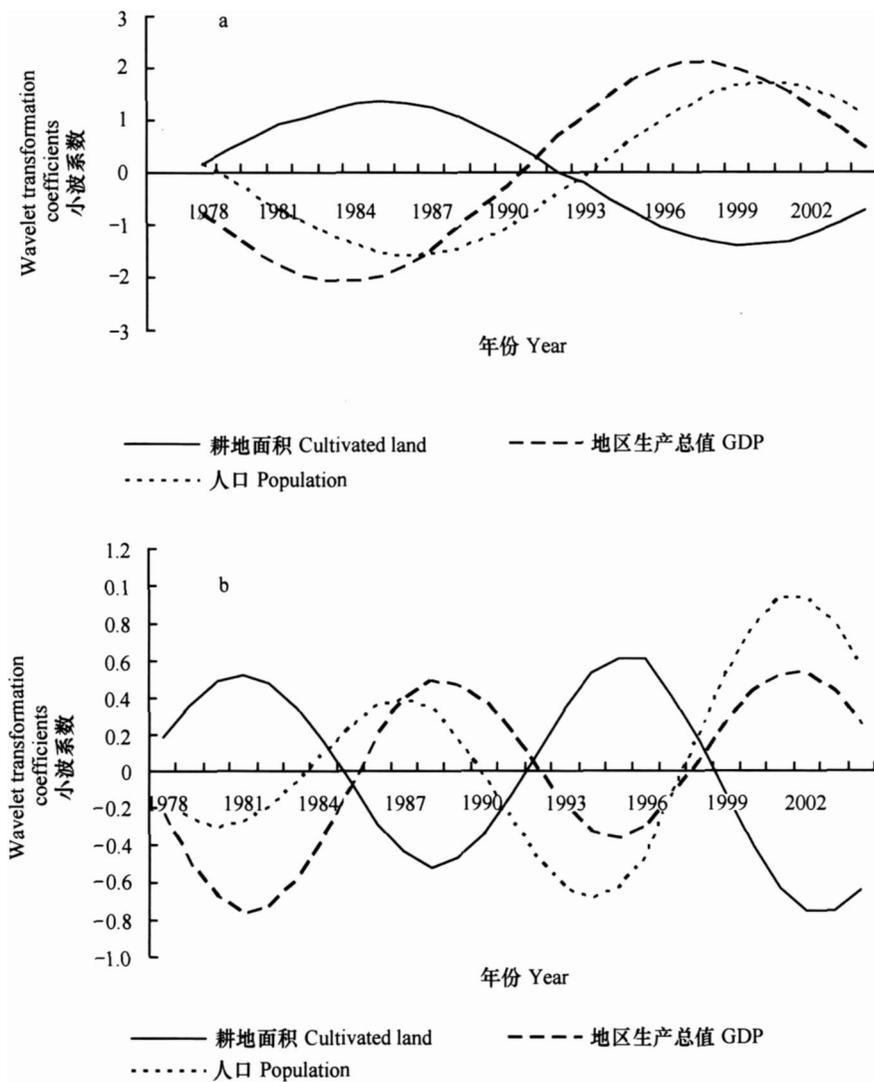


图 4 我国耕地面积、人口和 GDP 的小波变换系数曲线

(a, b 分别表示在 15a, 27a 特征时间尺度下)

Fig4 Wavelet transformation coefficients of cultivated area, Population and GDP

(Here, a) the scale of 15, b) the scale of 27 a)

全省人口 5 834 万, 2004 年达 7 432 万, 净增加 1 598 万人, 年均增长 59 万人。近 20 a 以来, 随着江苏省经济的快速增长、人民生活质量持续提高, 在这种大背景下的人口增加, 导致较多的耕地转化为生产优质生活需求品的其他用地。同时, 人口增加又与人均住房面积增加并存。1990 年全省城市居民人均住房面积仅为 9106 m², 2000 年增加至 12115 m²; 农民人均住房在 20 世纪 90 年代初达到 22 m², 2000 年进一步上升至 3317 m², 人均每年增加住房面积 111 m²。人口增加及居住水平提高, 引起住宅建设用地急剧扩大, 其中包括相当部分耕地被占用^[3]。

从驱动力的小波分解形态来看, 人口和 GDP 数量在 15a 和 27a 两种时间尺度下, 均处于波峰阶段,

可预期二者在未来短时间内将继续增加。由于二者对耕地数量的影响为负面效应, 所以亦可知, 江苏省耕地数量将继续减少, 但随着管理部门对耕地快速减少问题的重视和一系列土地调控政策的实施, 减少速率将有所下降。

3 结论与建议

根据研究得出两点结论如下:

1) 将小波方法运用于耕地数量变化及其驱动因素的分析中, 加深了对耕地数量变化特征及其规律的认识, 所得结论与前人的研究成果基本一致, 说明此方法具有较高的可靠性, 为深入探索耕地数

量变化的复杂性和定量预测未来趋势,提供了新的理论工具。

2)小波方法在处理非线性和非平稳序列方面,相比传统的统计方法以及功率谱分析,显示出极大的优势,但也存在一些问题,例如,小波分析尽管在保留信号时域特征的同时也具有一定的频域分辨率,但它不是自适应的,其测不准原理限制了其分析精度的提高,并且会产生很多虚假的谐波。因此如何改进这一缺点,将是今后研究的一个重要方向。

基于以上分析,笔者提出以下几点建议:

1)加强土地利用总体规划中耕地保有量的研究和控制。对于一些经济发达地区来说,要达到一定的耕地保有量可能存在难度^[19],可从提高粮食单产、精准农业、调整人民饮食结构等角度来进一步核定耕地保有量的底线^[20],以协调耕地保护与经济、社会发展的矛盾;

2)加强土地宏观调控的持续性和持久性。近年来,国家出台的一系列土地政策并结合其他政策进行调控,对于遏制乱占土地之风、缓解耕地快速下降态势取得成效。建议今后应尽可能地健全完善现阶段调控体系的结构和功能,充分发挥土地政策参与宏观调控的作用;

3)强化各级行政领导耕地保护职责。

参考文献

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域) 土地利用/土地覆被变化国际研究动向. 地理学报, 1996, 51(6): 553~ 557. Li X B. A review on the international researches on land use/land cover change (In Chinese). *Acta Geographica Sinica* 1996, 51(6): 553~ 557
- [2] Tumer I I B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land use and land cover change science/ research plan. GBP Report No 35 and HDP Report No 7. Stockholm: GBP, 1995
- [3] 周炳中, 赵其国, 杨浩. 江苏省耕地变化及其驱动机制的数理探讨. 土壤学报, 2003, 40(5): 665~ 671. Zhou B Z, Zhao Q G, Yang H. Study on the change of cultivated land and its regulation countermeasure in Jiangsu Province (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 2003, 40(5): 665~ 671
- [4] 杨桂山. 长江三角洲近 50年耕地数量变化的过程与驱动机制研究. 自然资源学报, 2001, 16(2): 121~ 127. Yang G S. The process and driving forces of change in arable land in the Yangtze River Delta during the past 50year (In Chinese). *Journal of Natural Resources* 2001, 16(2): 121~ 127
- [5] 李秀彬. 中国近 20年来耕地面积的变化及其政策启示. 自然资源学报, 1999, 14(4): 329~ 333. Li X B. Change of arable land area in China during the past 20year and its policy implications (In Chinese). *Journal of Natural Resources* 1999, 14(4): 329~ 333
- [6] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析. 资源科学, 2001, 23(3): 39~ 41. Bai W Q, Zhao S D. Analysis on driving force system of land use changes (In Chinese). *Resources Science* 2001, 23(3): 39~ 41
- [7] 张明. 区域土地利用结构及其驱动因子的统计分析. 自然资源学报, 1999, 14(4): 381~ 384. Zhang M. Statistical analysis to regional land use structure and its driving forces (In Chinese). *Journal of Natural Resources* 1999, 14(4): 381~ 384
- [8] 王梅, 曲福田. 基于变异率的中国 50多年的耕地变化动因分析. 资源科学, 2005, 27(2): 39~ 44. Wang M, Qu F T. Driving forces of arable land changes in China in the past 50year based on variance rate analysis (In Chinese). *Resources Science* 2005, 27(2): 39~ 44
- [9] 李景刚, 何春阳, 史培军, 等. 近 20年中国北方 13省的耕地变化与驱动力. 地理学报, 2004, 59(2): 274~ 282. Li J G, He C Y, Shi P J, et al. Change process of cultivated land and its driving forces in Northern China during 1983 - 2001 (In Chinese). *Acta Geographica Sinica* 2004, 59(2): 274~ 282
- [10] 赵其国, 周炳中, 杨浩, 等. 中国耕地资源安全问题及相关对策思考. 土壤, 2002, 234(6): 293~ 302. Zhao Q G, Zhou B Z, Yang H, et al. Safety problem of Chinese cultivated land (In Chinese). *Soils* 2002, 234(6): 293~ 302
- [11] 赵其国, 周生路, 吴绍华, 等. 中国耕地资源变化及其可持续利用与保护对策. 土壤学报, 2006, 43(4): 662~ 672. Zhao Q G, Zhou S L, Wu S H, et al. Cultivated land resources and strategies for its sustainable utilization and protection in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 2006, 43(4): 662~ 672
- [12] 孙燕, 林振山, 刘会玉. 我国耕地数量变化的突变特征及其驱动力分析. 资源科学, 2005, 27(2): 57~ 61. Sun Y, Lin Z S, Liu H Y. Changing characters of cultivated land area and its driving forces in China (In Chinese). *Resources Science* 2005, 27(2): 57~ 61
- [13] 秦宣云, 卜英勇. 基于小波变换的故障信号检测. 中南工业大学学报(自然科学版), 2002, 33(4): 434~ 437. Qin X Y, Pu Y Y. Signal detection and fault diagnosis based on wavelet transform (In Chinese). *Journal of Central South University of Technology (Natural Science Edition)*, 2002, 33(4): 434~ 437
- [14] 石祥升, 林振山. 华北地区旱) 湿转变周期的动力研究. 热带气象学报, 2001, 17(4): 436~ 442. Shi X S, Lin Z S. Dynamic resource in the transition between drought and wetness of north China (In Chinese). *Journal of Tropical Meteorology*, 2001, 17(4): 436~ 442
- [15] 张明阳, 林振山, 刘会玉. 我国西北地区干湿转换时间的研究. 气象科学, 2004, 24(1): 45~ 54. Zhang M Y, Lin Z S, Liu H Y. A research on dry/wet transformation time in northwest china (In Chinese). *Scientia Meteorologica Sinica* 2004, 24(1): 45~ 54
- [16] 林振山, 卞维林, 金龙, 等. 中国旱涝史料的层次分析. 气象学报, 1999, 57(1): 112~ 120. Lin Z S, Bian W L, Jin L, et al. Level analysis of dryness and wetness grades series (In Chinese). *Acta Meteorologica* 1999, 57(1): 112~ 120
- [17] 纪忠萍, 谷德军, 谢炯光. 广州近百年来气候变化的多时间尺度. 热带气象学报, 1999, 15(1): 48~ 55. Ji Z P, Gu D J, Xie J

G Multiple time scales analysis of climate variation in Guangzhou during the last 100 years (In Chinese). Journal of Tropical Meteorology 1999, 15(1): 48~ 55

- [18] 封志明, 刘宝勤, 杨艳昭. 中国耕地资源数量变化的趋势分析与数据重建: 1949~ 2003. 自然资源学报, 2005, 20(1): 35~ 43 Feng ZM, Liu B Q Yang Y Z A study of the changing trend of Chinese cultivated land amount and data reconstructing 1949~ 2003 (In Chinese). Journal of Natural Resources 2005, 20(1): 35~ 43
- [19] 黄贤金, 濮励杰, 周峰, 等. 长江三角洲地区耕地总量动态平

衡政策目标实现的可能性分析. 自然资源学报, 2002, 17(6): 670~ 676 Huang X J Pu L J Zhou F, et al Possibility of realizing dynamic balance of farm land area in the Yangtze River Delta (In Chinese). Journal of Natural Resources 2002, 17(6): 670~ 676

- [20] 孙娴, 林振山, 孙燕. 我国耕地总量的动力预测及其建议. 自然资源学报, 2005, 20(2): 200~ 205 Sun X Lin Z S Sun Y. Dynamic prediction and suggestion of total farmland in China (In Chinese). Journal of Natural Resources 2005, 20(2): 200~ 205

MULTI-TIME SCALE ANALYSIS ON FLUCTURATION OF THE ACREAGE OF CULTIVATED LAND AND ITS DRIVING FORCES))) A CASE STUDY OF JIANGSU PROVINCE

Sun Yan¹ Jin Xiaobin¹ Zhang Yunpeng² Zhou YirKang¹

(1 Department of Land Resources and Tourism Resources Nanjing University,
Nanjing 210093 China)

(2 College of Civil Engineering Nanjing University of Technology,
Nanjing 210009 China)

Abstract Jiangsu province is one of the most densely populated regions fastest in economic growth and most intense in land use The contradiction between land shortage and rapid economic development has become a nonnegligible problem that restrains sustainable development of the regions Wavelet analysis is adopted to study characterization of the change and its driving mechanism in acreage of cultivated land of Jiangsu Province by using the data from 1978 to 2004 Results show that 1) the fluctuation of cultivated area in Jiangsu Province is characterized by 52year 132year and 272year time scales and subjected to two factors on the 15a time scale and mainly to GDP on the 27a time scale both negatively 2) the acreage of cultivated land will keep on losing but with a reducing rate as a result of increasing attention from the State to the issue of shrinking cultivated area and promulgation and implementation of a series of land regulation policies

Key Words Cultivated land Wavelet Driving force Multi-time scale