

基于 GKSIM 模型的土地利用动态变化 控制性模拟与预测

——以江苏省为例

杨典华

(首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室,北京 100048)

[摘要] 基于主导驱动因子的动态变化及其对土地利用变化的贡献率,基于 GKSIM 模型对江苏省土地利用动态变化进行控制性模拟预测,探讨在主导驱动因子 GDP、人口和产业结构的影响下,江苏省土地利用未来变化态势。结果表明,随着 GDP 与人口的增长,江苏耕地和建设用地变化最为显著,表现为耕地面积呈减少趋势且与其他地类相比减少值最大,建设用地呈增加趋势且增加值最大,主要原因为江苏省经济快速发展进程下的快速工业化、城市化促进了建设用地对耕地的大量占用。基于 GDP、总人口和产业结构三个主导驱动因子与土地利用变化间影响关系进行预测,可有效避免二者在时间维度上投影所产生的多步误差,较好地体现了主导驱动因子影响下的江苏省土地利用动态变化趋势。

[关键词] 土地利用 动态变化 GKSIM 模型 模拟 预测

[中图分类号] P208 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2011)04-0116-06

GKSIM Based Controlled Simulation and Prediction on the Dynamic Change of Land Use in Jiangsu Province

Yang Dianhua

(Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application of Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: Based on the dynamic variation of the main driving forces and their contributions to land use change, GKSIM model was applied to the controlled simulation and prediction on the dynamic change of land use in Jiangsu province in order to explore future land use tendency under the influence of the main factors: GDP, population and industrial structure. The results indicated that cultivated land and construction land changed most markedly with the growth of GDP and population which manifested as the two respects: cultivated land had a decreasing trend and decreased most than other kinds of land while construction land had an increasing trend and increased most. The main reasons were as follows: the rapid economic development of Jiangsu province led to rapid industrialization and construction land were increased by occupying great amounts of cultivated land. The prediction of the relationship between the three main driving forces (GDP, total population and industrial structure) and land use change could effectively avoid multistep error produced by projection on the time dimension and display the land use dynamic change in Jiangsu province.

Key words: land use, dynamic change, GKSIM model, simulation, prediction

土地利用动态变化是人类活动作用于土地的映射,反映人类利用资源、改造自然的强度。准确预测土地利用变化态势与数量,不仅可以把握未来土地利用的动态,也可适时调整人类行为,制定相应政策,使土地利用变化与人类社会发展相协调。近年来,不少学者将马尔科夫模型、系统动力学模型等多种数学模型及“3S”技术运用于土地利用变化的模拟与预测^[1-7],较好地反映了区域土地变化的数量及空间转移特征,然而这些预测多是根据影响因子与土地利用变化间作用关系,在对土地利用变化驱动要素预测基础上进行土地利用变化预测,其预测准确度依赖于主导驱动因子预测的准确度,同时也可能导致多步误差累

收稿日期: 2011-09-13.

通讯联系人: 杨典华, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 摄影测量与测绘遥感, 地理信息系统. E-mail: yangdianhua@126.com

积. 本文对土地利用变化驱动因子不进行时间轴上的投影, 即对影响因子和研究对象间不做时间维度上的中转, 引入 GKSIM 模型直接建立所选取的多个主导驱动要素与土地利用变化之间的映射关系, 以 2006 年的各项数据为参考值, 考察未来 3 个主导驱动因子不同变化情况下的江苏省土地利用变化的趋势及相应的变化面积. 研究结果可为相关部门制定相应的社会经济发展目标及政策提供参考依据.

1 GKSIM 模型

1.1 模型的构建

GKSIM (Generalized Kane's Simulation) 模型起源于美国学者 Kane 提出的 KSIM (Kane's Simulation) 模型, 起初用于环境模拟与政策评估. 20 世纪 90 年代, Jianxin Gong 和 Kuninori 将该模型进行相关改进后运用到土地利用变化研究, 称为 GKSIM 模型^[8-9]. GKSIM 模型的优点是通过权重变量引入了外部要素的驱动作用, 同时可仅基于各土地利用类型的数量动态平衡和变化的极值边界对外部驱动要素的权重进行限制, 可适用于长时段的土地利用变化预测^[10]. 基本公式表达为:

$$\begin{cases} y_i(t + \Delta t) = b_i - \Delta_i q_i \left\{ \frac{b_i - y_i(t)}{\Delta_i} \right\}^{s_i \omega_i d_t} \\ \sum_{i=1}^m y_i(t + \Delta t) = T \end{cases} \quad (1)$$

式中 m 为土地利用类型数量; $y_i(t)$ 为 t 时刻第 i 类土地的面积; b_i (a_i) 分别为 y_i 可以取值的最大值 (最小值); $\Delta_i = b_i - a_i$; T 为区域土地总面积; q_i s_i 为待定系数, 需根据统计方法确定; ω_i 为内、外部变量综合作用的权重变化, 本文中采用 GDP、产业结构和总人口为外部变量; d_t 为调节系数.

对上式进行变换, 得到:

$$\ln \frac{b_i - y_{i,t+1}}{\Delta_i} = \ln q_i + \left(\omega_i d_t \ln \frac{b_i - y_{i,t}}{\Delta_i} \right) s_i \quad (2)$$

根据历史统计数据基于最小二乘拟合即可确定 q_i 和 s_i 的系数.

由于外部驱动要素主要通过 ω_i 耦合进入方程, 并对各土地利用类型数量的动态变化模拟结果产生较大影响, 因此 ω_i 的计算是该模型的核心问题之一. Gong 等利用 GKSIM 模型对中国的土地利用变化进行预测时, 基于人口和 GDP 的模式给出了内部要素和外部要素驱动的 ω_i 的特定表达式^[11], 考虑了两个外部变量的情况. 张克锋等对 Gong 等模型进行扩展, 构建了包含总人口、城镇化率和 GDP 的土地利用变化驱动模型^[10]. 然而影响土地利用变化的驱动要素复杂多样^[12], 在不同地区、不同区域的不同发展阶段, 主导驱动要素的类别、作用强度和作用方式均存在差异. 直接基于 GKSIM 模型的预测结果仅能给出相对粗略的趋势信息. 且由于在 GKSIM 模型中, 基于最小二乘拟合的参数拟合容易受数据自身的异质性的影响, 尤其在指标中同时含有趋势性变化和具有较强波动性变化指标时, 容易导致最终预测精度出现偏差. 综合考虑江苏土地利用变化的实际过程、可能机理、数据的可获取性与模型适用性, 本文选取江苏统计局网站上公布的江苏省统计年鉴数据中的 1998 ~ 2006 年 GDP、总人口和产业结构 3 个社会经济要素的统计数据作为主要的外部变量. 基于 GKSIM 模型, 对上述指标采用如下公式进行权重计算:

$$\omega_{i,t} = \prod_{j=1}^t \left(\frac{\sum_{i=1}^m (H_{i,t})^{K_{i,t}}}{\sum_{i=1}^m (H_{i,t})} \right) \left(\frac{P_{d,j}}{P_{d,j-1}} \right) \quad (3)$$

其中 $H_{i,t}$ 为偏最小二乘回归获得各要素对各土地利用类型数量变化的标准化回归系数的绝对值, 反映各外部驱动要素对土地利用类型影响的权重大小; $K_{i,t}$ 为偏最小二乘回归系数的符号; $P_{d,j}/P_{d,j-1}$ 为第 d 个外部驱动要素的年变化率. 由 1998 ~ 2006 年的土地利用现状统计数据计算得到的标准化回归系数及其幂值如表 1 所示. 表中变量 1 代表地区生产总值, 变量 2 代表产业结构, 变量 3 代表总人口.

表 1 GDP、人口和产业结构对土地利用类型作用的权重值及幂值
Table 1 Weight and power values of the effect of GDP , population and industrial structure on land use types

	K(1)	K(2)	K(3)	H(1)	H(2)	H(3)
耕地	- 1	1	- 1	0. 256 4	0. 091 5	0. 234 1
园地	1	- 1	1	0. 193 9	0. 686 8	0. 116 7
林地	1	- 1	1	0. 313 5	0. 493 7	0. 325 8
牧草地	- 1	1	- 1	0. 248 2	0. 232 8	0. 010 0
居民点及工矿用地	1	- 1	1	0. 329 9	0. 085 3	0. 283 4
交通运输用地	1	- 1	1	0. 319 4	0. 388 2	0. 629 5
水利设施用地	- 1	1	- 1	0. 000 1	0. 095 0	0. 251 5
其他用地	1	- 1	1	0. 061 0	0. 054 6	0. 044 3

1. 2 模型验证

在对构建的 GKSIM 模型稳定性进行检验的基础上 ,采用常规方法 —— 应用基础数据进行预测 ,进行操作验证 ,预测结果与其真实信息进行比较分析 ,检验模型输出是否能够说明问题 ,是否能够反映真实情况^[13-15] .

依据(3) 式计算出各年的权重变化值 ,考虑土地利用规划中对各地类的要求 ,根据江苏省土地利用历史数据的变化特征选取上下边界的数值(表 2) 进行模拟实验 ,以 1998 ~ 2004 年的数据利用最小二乘法拟合出 q_i 和 $s_i \times d_i$ 的系数值(表 3) ,从该系数和基于 1998 ~ 2006 年数据得出的系数对比看 ,两者差异较小 ,表明该模型具有较高的稳定性;采用 1998 ~ 2004 年的数据进行模拟 ,以 2005 和 2006 年的实测数据进行预测(图 1) ,分析各地类预测数据与实测数据间的差异 ,以进一步对模型进行验证. 预测结果显示 ,总体来看模型对大部分的土地利用类型均具有很好的预测效果 ,耕地、居民点及工矿用地、水利设施和其他用地预测准确率达到 98% 以上 ,园地和交通用地在 70% 以上 ,牧草地及林地的预测差异较大在 50% 左右 ,其中 2006 年牧草地预测准确率最低为 12. 5% ,几乎不具有参考价值 ,但由于江苏省内牧草地的数量极少 ,且根据江苏省的经济发展速度、水平和发展方式来看 ,牧草地不是江苏省土地利用变化研究的重点类型 ,因此选择忽略. 不同地类预测准确度差异现象与构建模型时选取的外部变量有关 ,本文选取经济发展与城市化进程中的 GDP、人口和产业结构 3 个因素是耕地、建设用地变化的主导驱动因素 ,因此 ,对耕地、建设用地的变化具有最强的相关性和敏感性 ,而对于江苏省的林地、园地、牧草地受农业结构调整政策的影响大 ,这类因素难以在模型应用中定量化 ,因此未加考虑. 总体上模型较好地反映了 GDP、人口和产业结构影响下的江苏省土地利用动态变化特征 ,可用于未来土地利用变化模拟预测.

表 2 江苏省各土地利用类型数量变化的边界值

land use types in Jiangsu province	km ²	
	b	a
耕地	7 562	4 700
园地	478	143
林地	494	156
牧草地	26	0. 7
居民点工矿及工矿用地	2 324	672
交通运输用地	188	39
水利设施用地	324	97
其他用地	2 333	985

表 3 参数拟合结果

1998 ~ 2004		1998 ~ 2006	
q_i	$s_i \times d_i$	q_i	$s_i \times d_i$
1. 04	1. 65	1. 01	1. 65
1. 78	1. 40	1. 02	1. 40
0. 91	7. 07	0. 83	7. 07
1. 03	0. 83	1. 02	0. 83
1. 02	1. 19	0. 97	1. 19
1. 02	0. 76	1. 01	0. 76
1. 05	1. 22	0. 97	1. 22
0. 42	0. 49	0. 42	0. 49

2 控制性模拟预测分析

基于主导驱动要素的土地利用变化预测结果的准确度强烈依赖于并且低于前面每一步预测结果的准确性 ,即预测结果准确度的“金字塔”现象. 通过对 3 个主导驱动要素的变化方向及范围进行模拟控制 ,考察在驱动要素的某一个取值点土地利用类型的变化 ,确定在某一取值范围内土地利用类型变化的趋势 ,可有效降低多步预测造成的误差积累. 基于这种思路 ,本文根据江苏省 GDP、人口和产业结构与江苏省土地利用结构之间的映射关系构建 GKSIM 模型预测江苏省土地利用结构未来变化 ,越过二者在时间维度上投

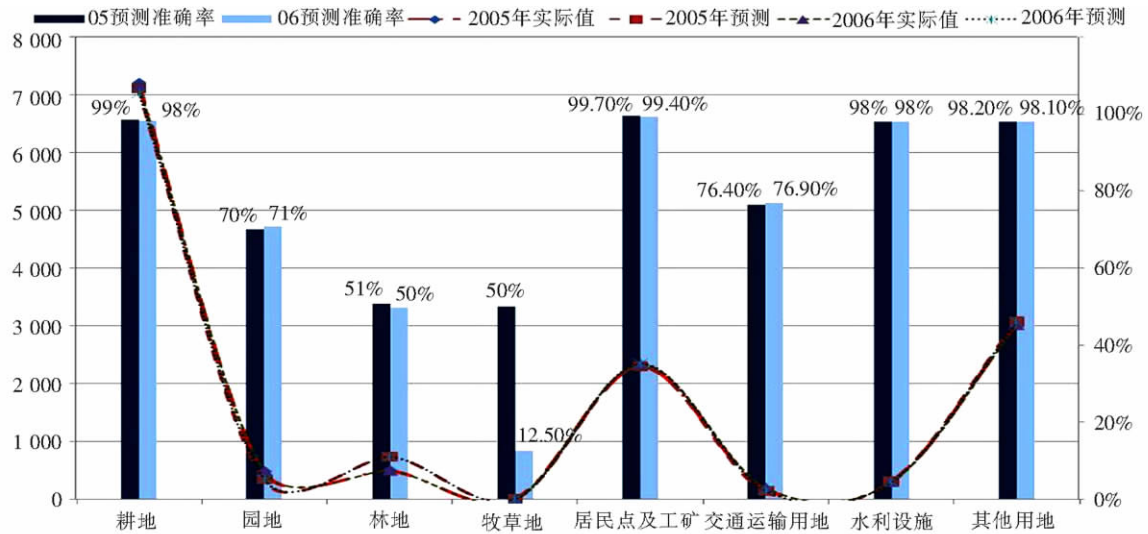


图 1 2005、2006 年预测准确率

Fig.1 Prediction precision in 2005、2006

影的不确定信息,以 2006 年各项相关数据为底值,控制 GDP、产业结构以及总人口的变率,考察相应情况下江苏省土地利用动态变化。

控制性模拟结果如图 2 所示,从整体的变化趋势上看,GDP 增长与总人口增加对全省土地利用类型数量和结构的影响趋势相似,产业结构变化的影响与 GDP 增长、总人口增加的作用呈现明显不同,且在社会经济发展的不同阶段、不同的 GDP、人口和产业结构的变化率条件下,部分土地利用类型数量变化趋势呈现相反的态势。从土地利用结构来考察,耕地面积随 GDP、总人口的增长均呈现出近似指数的下降趋势,园地、林地、交通用地和居民工矿用地随 GDP 增长、人口增加呈接近线性增长的趋势,这与文献[16]中 GDP、人口对耕地及建设用地影响的相关观点一致,因为随着 GDP 及人口的增加,人类社会的消费行为量及类别更加丰富,对副食品、出行、精神文化方面的需求逐渐增加,恩格尔系数降低,粮食消费在人类总的消费行为中所占比例也有所下降,因此在需求的牵引、比较效益的驱使及政策的积极调控下,土地利用结构有所调整,耕地被占用,面积减少,园、林、交通及居民工矿用地逐渐增加以满足需求;产业结构与耕地变化呈现出正向的线性作用关系,说明三、二产业比值的提高在一定阶段、一定范围内有助于耕地的保护,这与叶长盛关于产业结构的不同发展阶段对耕地影响研究中的相关结论一致^[17],因为现阶段江苏省第三产业相较于以纺织业、非金属矿物制品业、普通机械制造业等传统工业为主的第二产业来说占地相对要小,主要靠服务及科技来促进 GDP 的增长而不依赖于大量土地的投入,因此在江苏省现阶段的经济水平

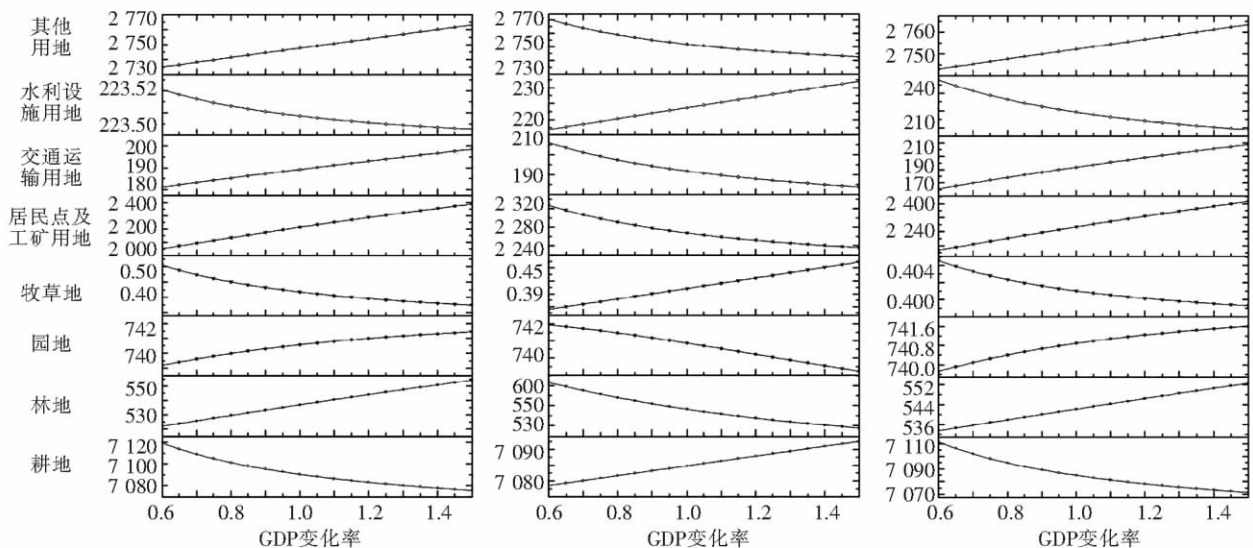


图 2 各要素变化率对未来耕地影响的控制性模拟

Fig.2 Controlled simulation of the effect of feature change rate on future cultivated land

下,三、二产业比值的增大一定程度上有利于耕地的保护。

随着江苏省经济发展、城市化进程的加快,城市配套服务设施及场所的增加也将会造成对土地占用速度的加快及量的增长;从各地类的变化程度看,相同的GDP变化率范围内(正向),居民点及工矿用地的正增长值最大,耕地的负增长值最大;相同的人口变化率范围内(正向),耕地及水利用地的负向增长值最大,居民点及工矿用地正向增长值最大;相同的产业结构变化率范围内(正向),耕地的正向增加值最大,林地的负向增加值最大,居民点及工矿用地的负向增加值次之。进一步说明工业化、城市化促进了建设用地对耕地的占用,表现为现阶段GDP及人口与耕地变化呈相反的发展态势,但是这种影响随着GDP及人口的继续增长会有所减缓,这一方面可以理解为耕地资源量的限制,即耕地被占用的潜力已经达到极限,另一方面在GDP达到一定水平后,随着科技水平的提高及产业结构的优化,土地催生GDP已经转向科技及劳动力催生GDP的阶段。

GDP、人口和产业结构3个因子间存在复杂的相互影响、相互作用,三者对土地利用的共同影响机制更加复杂,早期GDP的增长依赖于土地的投入,而当GDP的增长达到一定程度后又会促使资本代替土地投入到GDP的进一步增长中,把土地从GDP的增长中释放出来;人口的增长一方面会给土地带来粮食供给和空间供给上的压力,另一方面又会积极地推动生产力的发展,科技的进步,为土地保护提供技术支持,同时能够进一步促进GDP的增长;产业结构的调整从工业中解救出大量的土地,增加劳动力及科技对GDP的贡献,减少土地占用,另一方面,随着人口的增长,城市化进程的加快,与城市配套的服务行业的发展又会占用土地。三者相互促进相互制约共同作用于土地,影响着土地利用结构。可见更进一步了解土地利用变化因子的作用机制对土地利用变化的预测十分重要,这有待于进一步研究。

3 结论与讨论

(1) 考虑总量平衡和外部要素驱动条件下,利用GKSIM修正模型模拟出不同要素的变化率对各地类的耦合作用,进而预测江苏省土地利用变化,结果显示耕地随GDP和总人口的增长均呈现出近似指数的下降趋势,而园地、林地、交通用地和居民工矿用地则基本与GDP发展表现为接近线性增长的趋势,可见工业化、城市化进程及二者的叠加作用促使建设用地对耕地大量占用;随着产业结构的不断优化,三、二产业比值增大,劳动力、科技及资本逐渐把土地从GDP增长中替代出来,对耕地的保护具有积极意义。

(2) 不同发展阶段,政策导向有所不同,不同时期,或有自然因素突变,这些较难预料的因素能促使土地利用结构突变,因此本文没有考虑未来突发性影响因素的出现,但是允许政策等突变因素所产生预测误差的存在,越过时间维度上的投影直接反应各地类在未来GDP、人口及产业结构变化下的发展趋势。本文利用江苏省1998~2006年近10年的土地利用数据进行模拟验证,满足模型要求,较好地模拟预测了江苏省土地利用动态变化。

(3) GKSIM模型适用于缺乏历史数据地区的土地利用变化的模拟预测,可利用的历史数据越多,模型对未来趋势预测的效果将会更好。受GKSIM模型自身约束,本文模型主要探讨了各单一影响指标对土地利用类型变化的影响。由于土地利用动态变化的驱动因子间存在着交叠,在准确地分析各要素间的相互作用关系及它们对土地的作用机制的基础上,构建包含多要素交互作用的土地利用变化敏感性分析模型是本文的后续研究方向。

【参考文献】

- [1] 张新长,梁金成.城市土地利用动态变化及预测模型研究[J].中山大学学报:自然科学版,2004,43(2):121-125.
- [2] 刘新新,徐跃通,翟艳青.基于GIS的南屯矿区土地利用动态变化与预测[J].矿业研究与开发,2009,29(4):54-56.
- [3] 殷少美,周寅康,濮励杰,等.马尔科夫链在预测土地利用结构中的应用——以湖南娄底万宝镇为例[J].经济地理,2006,26(12):120-123.
- [4] 张锦锂,李秀彬.拉萨城市用地变化分析[J].地理学报,2000,55(4):395-406.
- [5] 王良健,包浩生,彭补拙.基于遥感与GIS的区域土地利用变化的动态监测与预测研究[J].经济地理,2000,20(2):47-51.
- [6] 陈晓越,叶嘉安,齐志新.短时间间隔的土地利用变化监测[J].自然资源学报,2011,26(1):156-165.

- [7] 陈江龙,曲福田,王启仿. 经济发达地区土地利用结构变化预测——以江苏省江阴市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2003,12(4): 317-321.
- [8] Kane J. A primer for a new cross-impact language-KSIM [J]. Technological Forecasting and Social Change, 1972, 4(2): 129-142.
- [9] Kane J, Thompson W, Vertinsky I. Environmental simulation and policy formation—methodology and example [C]// Proceedings International Symposium on Modeling Techniques in Water Resources System. Ottawa, 1972, 1: 37-53.
- [10] 张克锋,彭晋福,张定祥,等. 基于城镇化水平和 GDP 情景下中国未来 30 年土地利用变化模拟[J]. 中国土地科学, 2007, 21(2): 58-64
- [11] Gong Jianxin, Otsubo Kuninori. A new approach to modeling land use change applicable to a limited data Set [C]// Proceedings of 1999 NIES Workshop on Information Bases and Modeling for Land Use and Land Cover Changes in East Asia. Tsukuba-shi, 1999: 27-34.
- [12] 吴秋敏,吕恒. 江苏省近 30 年来的土地利用变化的区域差异分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(5): 670-676
- [13] Banks J, Gerstein D, Searles S P. Modeling processes, validation and verification of complex systems: A survey [M]// Balci O. Methodology and Validation, Number 1 in Simulation Series. San Diego: Society for Computer Simulation, 1988: 13-18.
- [14] Sargent R G. Verification and validation of simulation models [C]// Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. Washington DC, 1998: 121-130.
- [15] Edward J R. Testing ecological models: the meaning of validation [J]. Ecological Modelling, 1996, 90: 229-244.
- [16] 袁林旺. 江苏省耕地变化的数量经济分析 [J]. 南京师大学报: 自然科学版, 1997, 20(4): 78-82.
- [17] 叶长盛,董玉祥. 广州市耕地数量与产业结构变化的关系研究 [J]. 中国农业资源与区划, 2007, 28(2): 20-23.

[责任编辑: 丁 蓉]