

# 基于 Multi-Agent System 的多尺度土地利用变化模型的构建与模拟

陈 海<sup>1,2</sup>, 杨维鸽<sup>1</sup>, 梁小英<sup>1</sup>, 王 涛<sup>1</sup>

(1 西北大学城市与资源学系, 陕西 西安 710069;

2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 通过土地利用情景变化模型反映多尺度的土地利用现象, 是学者们研究的焦点问题。本文基于 MAS 理论, 构建从地块到村庄的多尺度土地利用变化模型, 揭示微观层面不同尺度上土地利用变化的机制。应用该模型, 以陕西省米脂县孟岔村为例进行研究, 定量分析该村农户个体、农户群体和农户整体等不同尺度上的土地利用决策, 并通过与 2008 年实际土地利用变化数据对比和分析, 对构建的多尺度土地利用变化模型进行检验。通过分析, 认为: (1) 基于 MAS 的多尺度农户土地利用变化模型可较好地反映微观土地利用决策和空间的多尺度变化; (2) 构建用  $[0, 1]$  连续数值表示的农户土地利用决策与实际状况比较符合; (3) 本文为不同农户群体间的转化方法、农户间相互作用, 以及市场与政策因素的作用等方面的研究打下坚实的基础。

**关键词:** 地块; 村庄; 农户; 农户整体; 模型构建

文章编号: 1000-0585(2010)08-1519-09

土地利用变化的尺度问题一直是地理学者关注的热点问题, 而利用 Multi-Agent System (简称为 MAS) 理论, 通过情景变化模型去模拟多尺度土地利用变化已经成为目前的研究焦点之一<sup>[1~11]</sup>。当前主要有 3 种方法: 一是基于机理分析, 探讨从个体决策到群体决策尺度变化规则<sup>[12]</sup>; 二是基于改变输入数据的精度, 探讨尺度变化; 第三种是基于多种模型的结合, 例如 MAS-CA<sup>[13~14]</sup>; 第一种尺度转化途径机理明确, 但决策的空间显性 (spatially-explicit) 表达较为困难; 第二种途径可以表达空间显性, 但决策与土地利用变化之间的逻辑解释不强; 第三种途径可以表达土地利用过程中决策与复杂性关系, 但行为人之间的相互作用处理较为简单。因此, 如何构建机理明确、能够定量分析行为人与人相互作用和清晰表达空间显性的多尺度 MAS 模型, 是模拟人类如何适应自然与社会经济的变化之关键问题之一<sup>[4, 15]</sup>。

孟岔村是国家级退耕还林示范县——陕西省米脂县的退耕还林典型村落, 该村自 2000 年起执行退耕还林政策, 土地利用方式发生很大变化 (图 1)。由以前单一的耕地转化为草地、林地、耕地等多种土地利用方式, 农户类型也由以前较为单一的种植户变为目前由承包户、种植户、打工户和复合户组成的多样农户群体。

多样的土地利用方式, 多种农户类型群体, 以及退耕还林政策和市场因素的影响, 为

收稿日期: 2009-04-03; 修订日期: 2009-08-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40601005)

作者简介: 陈海 (1971-), 男, 山西侯马人, 副教授, 博士。主要从事自然地理、生态学方面研究。E-mail: chw@nwu.edu.cn

研究农户土地利用决策多尺度变化提供了一个良好的平台。为了研究的简单与方便，且为了将研究重点集中在土地利用变化的多尺度转化方面，本文选择受其他类型农户影响较小，且内部类型较多的种植户类型作为研究的对象，分析该类中不同组织层次中个体决策的形成过程，为后续研究其他类型农户的决策的转化积累经验。

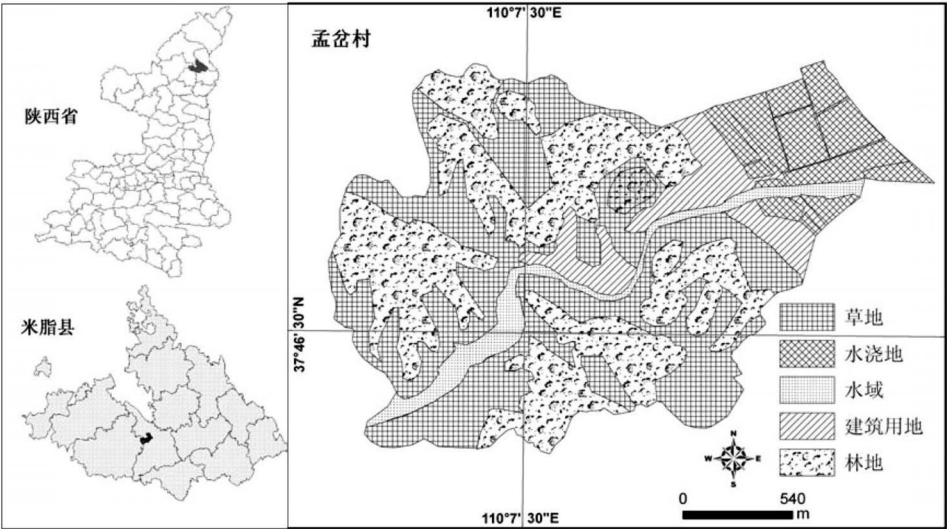


图 1 研究区位置图

Fig. 1 The location of the study area

本文尝试基于 MAS 理论，构建从地块到村庄的多尺度土地利用变化模型，来揭示微观层面不同尺度上土地利用变化的机制，定量分析农户、农户群体、农户整体的土地利用的决策和相互作用，并对结果进行初步检验和验证。

1 基于 MAS 的农户土地利用决策多尺度转化机理

1.1 空间尺度与组织层次的对应

本文试图通过微观主体——农户土地利用行为的分析，来探索从地块到村落整体的多尺度土地利用变化机制。从组织层次上，涉及农户个体——农户类型群体——农户整体三个层次；从空间尺度层面，涉及农户的地块——农户类型群体地块——村庄土地整体等 3 个尺度。空间尺度与组织层次的对应关系如图 2 所示：

从图中可以看出：

本文主要研究两种不同 agent：组织层次的 agent 与智能 agent，均分为三类；

组织层次与空间尺度联系紧密。在本文中，不同尺度的智能 agent 与空间环境 agent 一一对应，即农户个体对应农户地块，农户群体对应农户群体地块，以及农户整体对应农户整体。

1.2 技术路线与转化机理

本文构建基于 MAS 的多尺度土地利用变化模型的技术路线如图 3。从图 3 看出，模型的构建包括 3 个部分：构建地块尺度的土地利用变化模型，制订多尺度转化的规则，在上述基础上，构建村庄土地利用变化模型。

首先，构建农户个体、群体和整体 3 个尺度的土地利用变化决策模型；其次，依据农

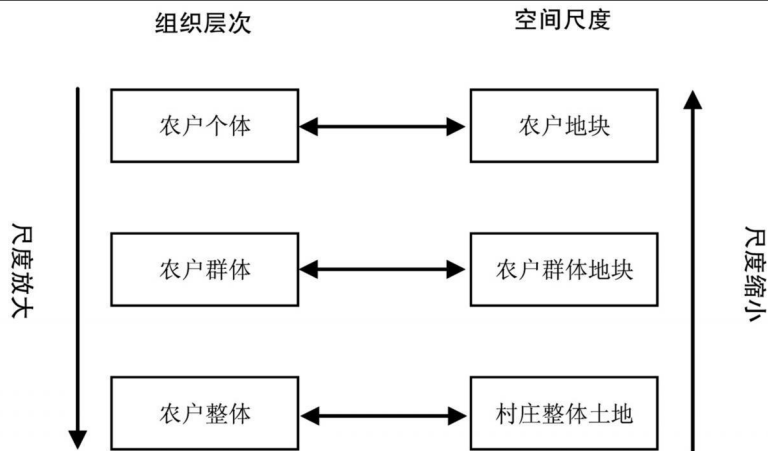


图 2 空间尺度与组织层次的对应关系

Fig 2 The relationship between the spatial scale and the organization level

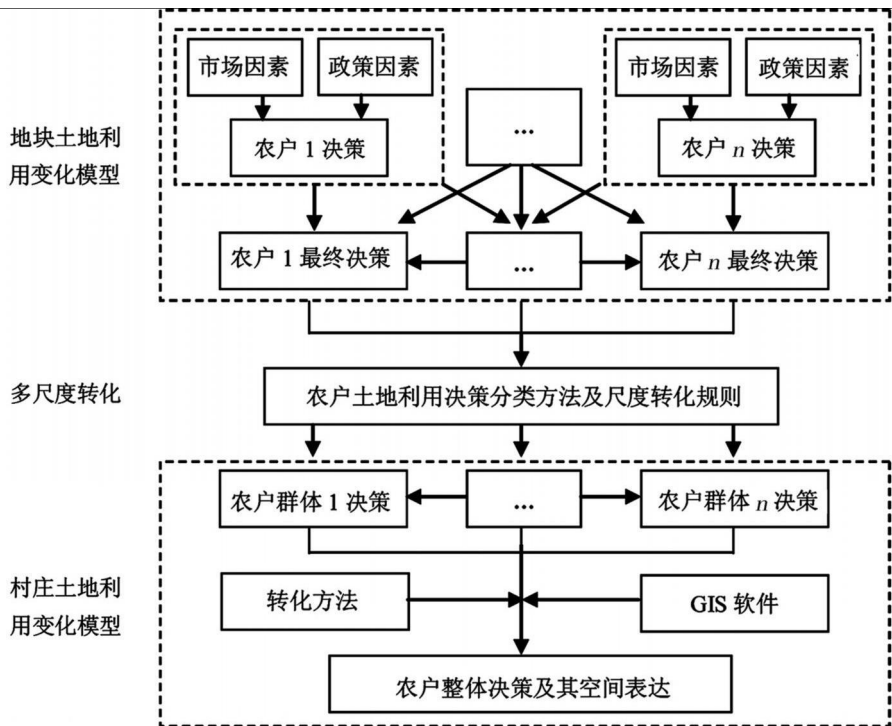


图 3 技术路线图

Fig. 3 The flow chart

户个体土地利用决策向农户整体决转化的技术路线图和转化机理图，以陕西省米脂县孟岔村为例进行研究；通过与 2008 年实际土地利用变化数据对比和分析，对构建的多尺度土地利用变化模型进行检验；最后，给出该方法对多尺度土地利用变化模型构建的意义及可能的研究发展方向。

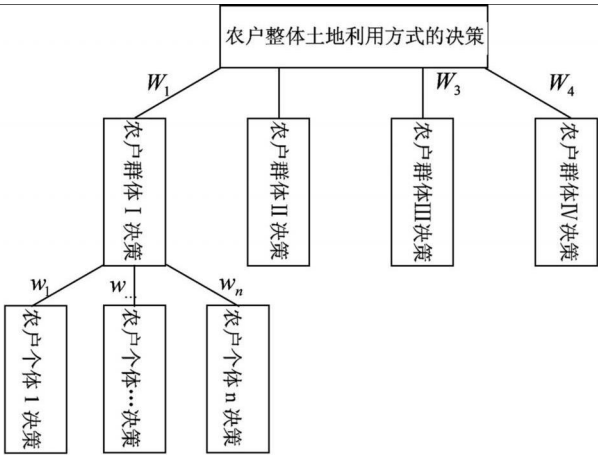


图 4 农户个体土地利用决策从个体到群体转化模式图

Fig 4 From individual households land use decision to the integrated decision

其中，多尺度转化是联系地块尺度与村庄尺度的纽带，是实现从农户到农户整体土地利用决策转化的关键。本文尺度的转化拟采用“嵌套空间选择法”（Nested Spatial Choice，简称为 NSC）。Benenson 和 Torrens 通过 NSC 法对城市居民住址选择行为进行了多尺度研究，尽管对不同尺度间相关因素的加和略显简单化，但为从微观视角研究不同尺度的转化提供了有益的借鉴<sup>[13, 16]</sup>。

- 转化机理如图 4 示。从图 4 以看出：
- （1）农户整体的土地利用决策与各类农户群体决策有关；各类农户群体的土地利用决策在农户整体中的影响用权重  $W_i$  表示，且  $\sum_{i=1}^4 W_i = 1$ ； $i$  为农户群体类型；
  - （2）某类农户群体的土地利用决策与该类中农户的土地利用决策有关；农户的土地利用决策在该类群体中的影响用权重  $w_i$  表示，且  $\sum_{j=1}^n W_j = 1$ ； $j$  为农户。

2 多尺度土地利用变化模型的构建

农户作为土地利用的主体，其决策决定微观土地利用的变化。即农户土地利用决策的类型与土地利用的变化密切相关。因此，从决策类型入手来分析土地利用的尺度变化，就为揭示土地利用尺度变化机理找到一条可行之途径。为了研究的简便性和典型性，本研究选择受其他类型农户影响较小，且内部类型较多的种植户类型作为研究的对象，分析该类中个体农户决策形成过程，为后续研究其他类型农户的决策积累经验。

依据农户决策的类型，将农户划分为 3 种群体类型：以玉米为主的种植户群体、以菜地为主的种植户群体、以其他作物为主的种植户群体。在划分出农户类型的基础上，为了实现从农户个体到群体的转化，本文利用 NSC 转化方法，实现地块尺度到村庄尺度的土地利用变化的转化。

从图 3 可以看出，通过构建农户个体的土地利用决策及其在农户群体中的权重，以及各农户群体决策在农户整体中的权重，就可将农户个体土地利用决策转化为农户的整体决策。即实现从地块尺度到村庄尺度的土地利用决策的转化。

由于农户土地利用决策由于受经济水平、生活方式、个人偏好、政策、市场等多方面的影响，农户土地利用决策极易发生变化。因此，本文构建的农户土地利用决策模型主要考虑短期，且在此期间农户间耕作技术水平差异不大、农户耕作技术没有变化。

2 1 农户整体的土地利用决策模型

农户整体的决策与农户群体的决策及其对农户整体决策影响的权重有关。因此，农户整体的土地利用决策可通过如下公式反映：

$$I_{gk,t+1} = \sum_{i=1}^4 W_{ikt} I_{ikt}$$
 (1)

其中， $I_{gk,t+1}$  为该村农户整体的第  $k$  种土地利用方式  $t+1$  时的土地利用决策； $W_{ikt}$  为  $i$  类农户群体的第  $t$  种土地利用方式的决策  $t$  时在农户整体决策中的权重，且  $\sum_{i=1}^n W_{ikt} = 1$ ； $I_{ikt}$  为该村农户群体  $i$  的第  $k$  种土地利用方式  $t$  时的土地利用决策，且  $i=1, 2, \dots, n$ ；

决策的权重可通过下式计算：

$$W_{ikt} = \frac{Income_{ikt} \times Area_{ikt}}{\sum_{i=1}^3 Income_{ikt} \times Area_{ikt}}$$
 (2)

其中， $Area_{ikt}$  为农户群体  $i$  类型  $t$  时刻所拥有的第  $k$  种土地利用的面积； $Income_{ikt}$  为农户群体  $i$  类型  $t$  时刻所拥有的第  $k$  种土地利用的收益；其他参数同上；

2 2 农户群体的土地利用决策模型

从图 2 中可以看出，农户群体的决策与农户个体的决策及其权重有关。因此，农户群体  $i$  的土地利用决策可用如下公式表达：

$$I_{ikt} = \sum_{j=1}^n w_{ijk} I_{ijkt}$$
 (3)

其中， $w_{ijk}$  为农户群体类型  $i$  中农户  $j$  时刻  $t$  第  $k$  种土地利用决策对群体的影响权重； $I_{ijkt}$  为农户群体类型  $i$  中农户  $j$  时刻  $t$  所拥有的第  $k$  种土地利用方式的决策；其他参数同上；

农户个体决策的权重可通过下式计算：

$$w_{ijk} = \frac{Income_{ijkt} \times Area_{ijkt}}{\sum_{j=1}^n Income_{ijkt} \times Area_{ijkt}}$$
 (4)

其中， $Area_{ijkt}$  为农户群体类型  $i$  中农户  $j$  时刻  $t$  所拥有的第  $k$  种土地利用的面积； $Income_{ijkt}$  为农户群体类型  $i$  中农户  $j$  时刻  $t$  所拥有的第  $k$  种土地利用方式的收益；其他参数同上；

2 3 农户个体的土地利用决策模型

农户个体的土地利用决策采用文献 [17] 的构建方式，其公式如下：

$$I_{ijkt} = Area_{ijkt} \times Income_{ijkt} / \sum_{k=1}^n (Area_{ijkt} \times Income_{ijkt})$$
 (5)

$k$  为农户  $j$  时刻  $t$  第  $k$  种土地利用方式；其他参数同上。

3 结果分析

3 1 农户个体决策

利用公式 (5)，可计算出孟岔村种植户个体的土地利用决策，结果如表 1 所示。

由于农户数量较大，仅列出代表性农户。从表中可以看出：

表 1 种植户土地利用决策  
Tab 1 The land use decision-making type of the planted household

种植户	玉米	菜地	其他作物
1	0 35	0 65	0 00
2	0 25	0 75	0 00
3	0 69	0 31	0 00
4	0 53	0 47	0 00
5	0 22	0 06	0 72
6	0 07	0 00	0 93

从农户个体来看，孟岔村种植户土地利用决策类型多样，根据种植作物面积和收入的相对高低，将该村种植户分为三类：以种植菜地为主的种植户群体 1，以种植玉米为主的种植户群体 2，以种植其他作物为主的种植户群体 3。

3 2 农户群体决策与农户整体决策

利用公式（1）～（4），可计算出孟岔村种植户群体的土地利用决策和种植户整体的决策，结果如表 2 所示。

表 2 农户群体土地利用决策  
Tab 2 The land use decision-making type of the planted household

种植户类型 \ 作物	玉米	菜地	其他作物
种植户群体 1	0 37	0 81	0 54
种植户群体 2	0 75	0 53	0 48
种植户群体 3	0 52	0 50	0 68
种植户整体	0 59	0 65	0 58

从表 2 中可以看出：

3 类农户群体土地利用决策有较大差异，即每类农户的决策重点有较大差异：种植户群体 1 决策顺序从高到低依次是菜地，其他作物，玉米；种植户群体 2 决策顺序从高到底依次是玉米，菜地，其他；种植户群体 3 决策顺序从高到低依次是其他作物，玉米，菜地。

与简单采用全体农户决策均值相比，农户群体决策类型可反映种植户内部土地利用决策的差异，采用简单均值不能真实反映农户群体内部的土地利用决策的多样性。

种植户整体反映了该村农户下一年土地利用决策。整体而言，农户下一年土地利用决策排序如下：菜地、玉米、其他作物。

3 3 结果检验

为了验证基于 NSC 转化方法的有效性，以 2007 数据为基础，模拟 2008 年农户的土地利用方式，并结合 2008 年实际调查数据，与模拟结果对比，得出决策出现错误的农户数量及其地块的空间分布（图 5），以及失误详情表（表 3），以此来检验和验证构建的模型。

农户类型错误数量占该类型农户比例种植户群体 148. 33% 种植户群体 212. 72% 种植户群体 3212. 50% 种植户整体 77. 85% 从农户整体上来看，失误率为 7. 85%。因此，依据基于 NSC 转化方法构建的农户决策模型，可以较好地说明农户的土地利用决策。

从农户的类型来看，失误主要集中在以菜地和以其他作物为主的农户类型中。尽管菜地失误数量较多，但占该类农户的比例较低；以种植玉米为主的农户的决策失误率最低。

以其他作物为主的农户失误率较高，占到该类农户的 12. 5% 以上。尽管其他作物的失误数量较小，但占该类农户的比例较大。一方面由于以其他作物为主的农户数量较小，另一方面种植其他作物的地块，大都在上年种植过西瓜等耗地力较大的作物，农户为了缓解土地的压力，而有意识地种植蔬菜或玉米等作物。因此，在模型中适当增加与轮作有关的决策在一定程度上可以减少决策模型的失误。

从土地利用面积来看，失误率为 11. 8%。相对农户土地利用决策而言，失误率较高。主要原因在于农户在进行土地利用类型选择时，备选的地块较多。因此，在模型中增加对不同备选地块的选择标准，将会有效提高模型土地利用空间配置的准确率，这将是下一步研究的重点之一。

表 3 失误说明表

Tab 3 The illustration of the errors		
农户类型	错误数量	占该类型农户比例 (%)
种植户群体 1	4	8.33
种植户群体 2	1	2.72
种植户群体 3	2	12.50
种植户整体	7	7.85

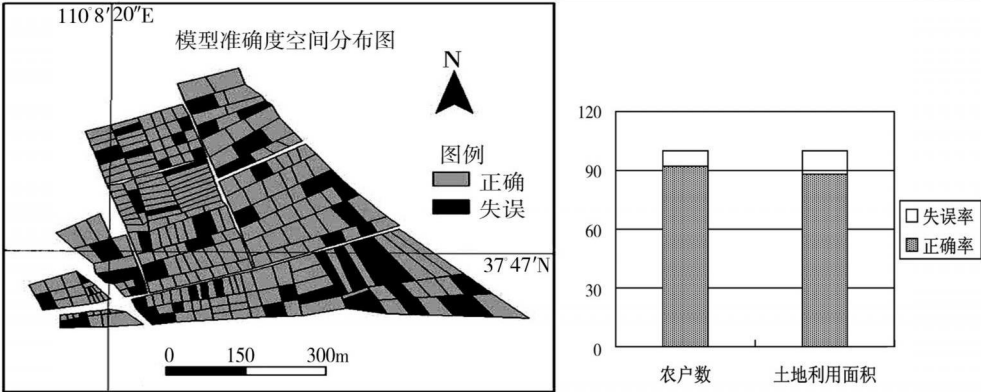


图 5 决策失误状况及其地块的空间分布

Fig. 5 The error of the decision-making and the spatial distribution of the plot

4 结论与展望

通过上述分析，究得出主要结论如下：

- (1) 本文构建了基于 MAS 的多尺度农户土地利用变化模型，从农户个体、农户群体、农户整体三个层面探讨了不同尺度农户土地利用的决策，模拟的结果能较好的表现研究区农户的土地利用决策状况，因此该模型可较好地反映微观土地利用决策的多尺度变化；
- (2) NSC 方法的从面积和收入两方面构建多尺度农户土地利用决策模型，考虑了影

响农户土地利用决策的主要因素,但未考虑市场,政策等因素对农户土地利用决策的影响。

(3) 农户土地利用决策是一个连续  $[0, 1]$  之间的数值,而非离散数值 0 或 1,本文尝试构建一个连续的农户土地利用决策,与实际情况较为吻合;

由于农户土地利用决策涉及因素的较多,本文还有许多需要进一步研究与探讨的问题有:

(1) 本文仅研究种植农户由个体向群体和整体转化的方法,而对于不同农户群体(例如种植户与承包户或打工户群体)之间的转化方法则没有涉及。同时,如何在模型中增加对备选地块选择的标准来提高土地利用空间配置准确率。这些问题将成为后续研究的重点;

(2) 本文农户个体决策仅考虑了农户本身的因素,而对于其他农户(种植户、承包户、打工户等)、市场与政策因素的作用则没有涉及;后续研究中将综合考虑各因素对农户个体的定量影响与作用。

### 参考文献:

- [1] Evans Tom P, Hugh Kelley. Multi-scale analyses of a household level agent-based model of land cover change. *Journal of Environmental Management*, 2004, 72: 57~ 72
- [2] 陈彦光. 城市化: 相变与自组织临界性. *地理研究*, 2004, 23(3): 301~ 311
- [3] Overmars K P, Verburg P H. Multi-level modeling of land use from field to village level in the Philippines. *Agricultural System*, 2006, 89 (2/3): 435~ 456, 22
- [4] Veldkamp A, Verburg P H. Modeling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management*, 2004, 72: 1~ 3
- [5] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Model*, 1996, 85: 253~ 270
- [6] Lambin E F. Modeling and monitoring land cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 1997, 21: 375~ 393.
- [7] Purnomo Herry, Guillermo A. Developing multi-stakeholder forest management scenarios: a multi-agent system simulation approach applied in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 2005, 7: 475~ 491
- [8] 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京城市化过程与机制分析. *地理学报*, 2002, 57(3): 363~ 371
- [9] 裴相斌, 赵冬至. 基于 GIS-SD 的大连湾水污染时空模拟与调控策略研究. *遥感学报*, 2000, 4(2): 743~ 746
- [10] 朱晓华, 李亚云. 土地空间结构的多尺度转换特征. *地理研究*, 2008, 27(6): 1235~ 1242
- [11] 季民河, Michael Monticino. 基于多代理模型的城市土地利用博弈模拟. *地理研究*, 2009, 28(1): 85~ 96
- [12] Marco G A. Huigen. First principles of the MameLuke multi-actor modeling framework for land use change, illustrated with a Philippine case study. *Journal of Environmental Management*, 2004, 72: 5~ 21
- [13] Paul M Torrens, Nara Atsushi. Modeling gentrification dynamics: A hybrid approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2007, 31: 337~ 361.
- [14] Irwin E G, Geoghegan J. Theory, data, and methods: Developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2001, 85: 7~ 23.
- [15] 陈海, 梁小英, 等. Multi-Agent System 模型在土地利用/覆盖变化中的研究进展. *自然资源学报*, 2008, 22(1): 1~ 8
- [16] Benenson, Itzhak, Torrens P M. *Geosimulation: Automata-Based Modeling of Urban Phenomena*. London: John Wiley & Sons, 2004
- [17] 陈海, 王涛, 梁小英, 等. 基于 Multi-Agent System 的农户土地利用模型的构建与模拟. *地理学报*, 2009, 64(12): 1448~ 1456

# Multi-scale modeling of land use based on the MAS from field to village: A case study for Mengcha Village of Mizhi County of Shaanxi Province

CHEN Hai<sup>1, 2</sup>, YANG Wei-ge<sup>1</sup>, LIANG Xiao-ying<sup>1</sup>, WANG Tao<sup>1</sup>

(1. Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS and Ministry of Water Resources;

Northwest Sci-Tech University of Agriculture & Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China )

**Abstract:** The multi-scale issue has been one of the hot spots in the land use/cover change (LUCC) research over long time, and the recent focus is to understand the micro mechanism of LUCC at multi-scale by using the land use/land cover scenario model. In this paper, we constructed a multi-scale land use/land change model from field to village based on the multi-agent system (MAS) and aimed to reveal the micro mechanism of land use/land change under multi-scale. We firstly made a short review in the context of MAS research and proposed that three aspects as constructing clear mechanism, quantitative analysis of interaction and explicating multi-scale simulation model are the key problems when considering human adaptation to the natural and social-economic changes in the MAS research. In section 2, we made the flow chart and the scale transformation mechanism figure. The correspondence between different organization levels and different spatial scales were also given. Based on the prior conception framework, section 3 deals with the transforming architecture of the multi-scale decision-making model. The transforming methods from the field scale to the village scale were given according to the transforming architecture. A case study for Mengcha Village of Mizhi County of Shaanxi Province was explored by using the proposed multi-scale model in section 4, and the model was tested by the LUCC data of 2008. In the last section, we made a discussion on the potentials and drawbacks of the approach. The conclusions can be drawn as follows: (1) The multi-scale LUCC model constructed in the study can reflect the micro land use decisions and multi-scale space transformation well. (2) The households land use decision presented by continuous numerical value  $[0, 1]$  was in consistent with the actual situation. (3) The approach suggested in this study laid a foundation for the future research on the interaction and transformation among different types of households, and was also useful to studies of the impacts of the market and policy on the household land use decision-making. (4) Larger spatio-temporal scale land use decision-making model is needed to bridge the LUCC data and the short-term household decision-making efficiently.

**Key words:** the field; the village; the individual household; the integrated households; scale transformation