DOI:10.19789/j.1004-9398.2017.03.013

多主体模型在土地利用动态模拟中的研究进展*

左良优[1] 戴尔阜[2**] 张明庆[1]

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室,北京 100101)

摘 要

土地利用变化是一个复杂的动态变化过程,作为复杂系统研究的重要工具,多主体模型能够更好地模拟土地系统中的复杂性问题,具有更大的优势和极大的应用前景. 本文简要介绍了多主体模型的概念和基本理论; 从主体选择、模拟侧重点等方面,对多主体模型在城市和农村土地利用动态模拟中的研究现状进行了分析; 总结了多主体模型在土地利用应用中取得的进展,探讨了其未来发展方向,以期为今后的土地利用变化模拟研究提供参考.

关键词: 多主体模型,土地利用,动态,模拟,应用.
中图分类号: F301.2

0 引 言

土地作为一种最基本的自然资源,既是重要的生产资料,也是人类赖以生存的活动领域与空间[1-2],土地利用格局及其变化直接反映了人类对其地表景观的影响作用,因此,土地利用/覆被变化已成为国际土地研究的重要课题之一.

早在20世纪90年代,国际地圈生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)与国际环境变化人文因素计划(International Human Dimensions Programme, IHDP)就联合提出了"土地利用和土地覆被变化(Land-Use and Land-Cover Change, LUCC)"这一为期10年的全球合作研究计划[3-5],使得众多学者纷纷开始关注并研究土地利用/覆被变化这一热点和前沿问题[6-9]. 该计划提出了LUCC研究的三个核心内容[10]:(1)土地利用的变化机制;(2)土地覆被的变化机制;(3)区域和全球模型. 2005年,IGBP与IHDP又推出了全球土地计划(Global Land Project, GLP)[11],该计划的关键在于解决人与环境之间的交互作用,旨在从人类-社会生态耦合系统的角度测量、模拟和理解土地系统的利用与变化情况,对于改善地区和全球范围内的土地系统有着明显的作用.

随着计算机模拟能力的日益增强,土地利用/覆被变化的研究经历了以历史资料整理、数据处理等定性或半定量的研究[12],发展到今天以模型为主的研究. 目前,计算机建模语言及平台的多样化,为土地利用变化模拟带来了新的机遇,许多学者根据不同研究目的和现实需要,从不同的研究视角来建模,其中运用比较广泛的模型主要有统计分析模型[13]、系统模型[14]、专家模型[15]、基于方程的模型[16]、进化模型[17]、元胞自动机模型[18]、综合模型[19]和多主体模型[20](Muti-Agent System,简称MAS)等. 这些模型都强调了人类社会经济系统与自然生态系统之间的动态反馈关系[21-22],阐明土地利用变化的空间格局及其带来的影响. 在上述模型中,多主体模型能够较好地从人类——社会生态耦合系统的角度出发,模拟以"人"为核心的土地利用变化. 人类与环境关系密切,研究"人地关系"中"人"的思想、行为对土地利用的动态变化显得尤为重要,而多主体模型就是从"人"的角度,模拟土地利用中人的决策行为以及宏观政策对土地利用空间格局变化的影响.

本文在梳理国内外相关文献资料的基础上,对多主体模型在土地利用变化的应用现状进行了综述,进而对多主体模型在土地利用变化上的应用前景进行了展望.

收稿日期:2016-09-28

* 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2015CB452702)、国家自然科学基金项目(41530749, 41571098, 41371196)、国家科技支撑计划(2013BAC03B04)资助.

**通讯作者

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 多主体模型简介

多主体模型是在主体模型的基础上逐渐发展演化而来的. 主体模型(Agent-based model,简称 ABM)融合了复杂系统理论以及分布式人工智能、智能机器人等多个研究领域的成果[23-24],自 20 世纪 70 年代末以来迅速发展,是一种进行复杂系统分析与模拟的思想方法和工具. 模型中的主体是能够独立进行相关决策的实体,一般具有自主性、目标性、能动性、反应性、社会性等特征[25-26],根据具体的情况还拥有其他特性[27],如代理性、合作性、持续性等.

多主体模型是由系统中多个主体相互作用构成的,通过模拟多个微观主体的行为过程来表达宏观层面作用的结果,是一种“自下而上”的建模方法[28],用于解决现实中规模庞大、结构复杂的问题. 因此,多主体模型在城市发展、金融市场、农业经济、生态系统、交通运输等领域得到了广泛的应用.

2 多主体模型在土地利用动态模拟中的研究现状

土地利用变化是自然因素和社会经济因素共同作用的结果,这些因素在时空尺度上的变化以及人类活动的复杂性使得土地利用变化呈现出动态变化的过程,所以土地利用变化是一个复杂的动态变化过程. 而多主体模型可以模拟复杂的主体决策行为,并综合土地利用变化中的空间变化,适于分析土地利用系统变化的空间过程、空间相互作用和多尺度现象[29],因此,在土地利用变化的研究中,多主体模型得到了众多学者的青睐. “土地利用和土地覆被变化”的研究提出之后,国内外学者开展了多主体模型在土地利用变化上的研究,主要集中于城市和农村土地利用变化等方面.

2.1 在城市土地利用动态模拟中的研究进展

城市土地利用变化是世界各国尤其是发展中国家在城市研究中面临的一个焦点问题. 人类活动是引起城市土地利用变化的主要原因,在城市土地利用研究中,通过研究主体的行为特征来研究其对城市土地利用变化的影响,模型的主体主要选择政府、居民、企业和房地产商,学者们根据其研究内容的需要选择性的进行研究. 如 Brown 等[29]选择了居民和服务中心作为主体,根据主体的审美偏好和对服务中心偏好来研究城乡边缘住宅开发情况. 刘小平[30]等在研究广州市海珠区 1995—2004 年的土地利用动态变化时选择了居民、房地产商和政府作为主体. 可见国内与国外研究者在主体选择上有所不同. 在中国,政府的宏观总体规划在城市发展中尤为重要,所以国内研究者往往会选择政府作为研究的主体之一. 由于主体的多样性,许多研究者在主体选择上与现实有差异,例如周淑丽[31]等在研究广州市番禺区城市扩张时,主体仅选择新增居民智能体,通过新增居民智能体居住区位的选择反映城市扩张的动态变化.

多主体模型在城市土地利用的研究应用中是一个逐渐发展完善的过程,进入 21 世纪以来,更是得到广泛应用. 从研究对象的空间尺度变化来看,由小城市到大城市,多主体模型的适用空间范围越来越广. 在 21 世纪前 10 年,多主体模型主要在较小面积的城市[32-35]进行土地利用变化研究,如刘小平[34]等以广州市 101.4 km^2 的海珠区为实验区,模拟了 1995—2010 年城市扩展的动态变化情况. 随着对多主体模型研究的深入,近年来的模拟区域面积逐渐扩大,如 Arsanjani 等[36]应用基于主体的方法与多准则分析法模拟了面积为 1 865 km^2 的德黑兰 1986 年和 2006 年的城市发展情况. 王贞超[37]构建了多主体城市用地扩展模拟模型对常州市武进区 1 242.29 km^2 的城镇用地演变情况进行了模拟.

从研究的时间尺度变化来看,由模拟过去城市土地利用的变化到预测未来城市土地利用的发展,多主体模型的模拟时间尺度越来越长. 过去的城市土地利用数据是构建模型的基础,因此,早期的研究中以模拟过去或当前的城市土地利用变化为主,例如 Peng 等[38]以武汉洪山为例,模拟了其 1996—2002 年的居住空间扩散. 城市所处的发展阶段和空间方位影响着未来城市的发展方向和道路,并且城市发展一直备受政府的关注,因此,学者们近年来多集中在模拟城市土地的未来发展,以期为城市发展提供参考. Arsanjani 等[36]构建了多主体模型并预测了未来 10 年的土地利用情况. 而 Kocabas 等[39]开发了一个模拟人类土地利用选择行为对土地利用变化影响的空间模型,模拟了未来 20 年加拿大温哥华 Surrey 的人口和土地利用变化,模拟的时间尺度更长.

从研究的技术方法来看,不少学者将多主体模型与其他模型集成分析城市土地利用变化,其中元胞自动机以其强大的空间运算能力,能可视化的表示土地利用的时空变化,众多学者[32-35,40]将多主体

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

模型与其结合来模拟城市土地利用变化，如 Torrens [40] 集成元胞自动机(CA) 和多主体系统构建了模拟城市扩张的仿真模型，模拟了美国密歇根湖的大都市地区城市扩张的空间格局. 由于多主体模型建模的复杂性和灵活性，多种方法与其结合运用成为趋势，Arsanjani 等 [36] 在模拟德黑兰 1986 年和 2006 年的城市发展情况时应用基于主体的方法与多准则分析法的结合，并使用马尔科夫链模型(MCM) 和统计外推法预测了未来的土地利用情况.

从研究的内容来看，早期研究侧重于地块土地利用格局的变化研究，主要是针对城市扩张 [41-43] 或居民住宅选择 [44-46] 的模型构建，杨青生等 [32-33] 结合 MAS 和 CA 的方法，模拟研究了东莞市樟木头镇 1988—1993 年的城市用地扩张. 而近年来研究主要集中在城市土地利用变化分析与预测 [40,47-48]、城市规划情景分析 [49-51] 和城市居住形态分析 [52-54]，多主体模型在城市土地利用中的应用已由单纯的城市土地利用变化仿真建模向城市规划情景方案评价分析和城市居住形态分析发展.

2.2　在农村土地利用动态模拟中的研究进展

与城市土地利用变化的模拟相比，多主体模型在农村土地利用方面的主体相对单一，多以农户或个体农民为切入点 [55-57]，这是由于农户是土地利用的主导者，其土地利用决策行为是导致农业土地利用结构变化的驱动力，所以在研究中通过家庭农户或个体农民的决策行为来探索农用地发展变化规律. 农户的年龄、收入、受教育的程度等是影响其土地利用决策的因素，研究者往往会针对研究区的农户采取问卷调查来获取实际资料，以便掌握研究区农户的决策情况. 如 Mialhe 等 [58] 在研究菲律宾邦板牙三角洲的农户行为时，采用问卷调查法，实地考察农户的家庭资源禀赋及其能力，根据农户不同的农业生产目标将农户行为分为个体理性、集体思想和有限理性三种类型，模拟不同农户行为下的农业土地利用变化情况. 可见，农户的异质性导致了土地利用决策的差异. 因此，家庭农户或个体农民的研究成为农业土地利用中多主体模型构建的关键.

国外在农村土地利用方面使用多主体模型较早，早在 20 世纪 90 年代，国外学者就将多主体模型引入农村土地利用变化中. Lansing 等 [59] 最早基于复杂自适应系统理论，将多主体模型应用到印度尼西亚的灌溉土地. 进入 21 世纪以来，多主体模型在农村土地中的应用更为广泛. Deadman 等 [60] 开发了一个探讨社会和环境问题相关的土地利用/覆被变化的主体模型，以亚马逊边界区域为研究区，模拟了在农户家庭土地使用决策影响下该区域的土地利用/土地覆被变化情况. 中国学者在农业土地利用变化中进行多主体模型的研究虽起步晚，但在近几年的研究发展中，取得了一定的进展 [61-63]. 陈海等 [62] 基于 MAS 理论，构建了从地块到村庄的多尺度土地利用变化模型，旨在揭示不同尺度上土地利用变化的机制，并以陕西孟岔村为研究区，分析了农户、农户群体和农户整体的土地利用决策对土地利用变化的影响. 以陕西孟岔村为研究区，高海东 [63] 使用博弈论构建了农户群体尺度的多智能体模型，研究了农户与环境的关系以及各种农户之间的关系，分析了孟岔模式的优势与不足. 与城市土地利用的模拟不同，在农业土地中，主体与地块之间存在较为固定的空间对应关系 [24]，主体复杂的行为决策导致了地块的土地利用方式呈现多样化的形式. 总的来看，多主体模型在农业用地的研究主要集中在农业土地利用变化模拟、土地利用情景模拟、农作物空间格局变化模拟、种植制度变化模拟、土地利用政策分析和农业土地利用主体的决策模拟.

生态效应的研究对于土地可持续利用和生态环境保护等方面具有重要意义. 近年来，由于人类不合理地开发、利用，森林、草原等自然生态环境遭到破坏，因此运用多主体模型模拟土地利用变化带来的生态效应在近期也备受关注 [65-67]. Happe 等 [56] 提出了一个多主体模型 AgriPolis，用于模拟农业生产结构的动态变化，以丹麦 Gudena 流域 Tange 湖北部为例，模拟了农户在追求利益最大化过程中对应的土地利用方式的动态变化，并评估其对生态环境影响.

3　讨　论

土地系统是土地利用与土地覆被的综合体 [24]，是地表各要素之间以及与人类活动相互作用形成的人类 – 自然耦合的复杂系统. 作为复杂系统研究的重要工具，多主体模型由于其建模的灵活性，能够展现社会经济和自然环境的复杂性，显性描述人类主体与环境的相互作用 [69]，更好地解释土地系统中的复杂性问题，为土地利用变化研究提供新的视角.

从以往的研究来看，无论是城市还是农村的土地利用变化，模拟主要集中于主体决策模拟、土地利用变化模拟及预测、不同情景下的土地利用变化分析等方面. 学者们运用多主体模型在模拟城市和农

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

村土地利用变化时各有不同. 都是从“人”的角度出发,在城市土地利用的研究中多选择政府、居民、房地产商等作为主体,而在农村土地利用变化中多以个体农民或家庭农户进行研究,主体相对单一. 此外,多主体模型应用于城市土地利用的模拟早于应用于农村,使得多主体模型在城市土地利用的研究更为成熟.

在今后土地利用动态模拟中,多主体模型在如下几个方面仍需深入研究和探讨:(1)完善模型中环境背景与多样化主体的模拟是多主体模型设计的重要内容. 环境因素包括社会、经济、自然、科技、政策法律等,而当前模型的研究对于决策行为的环境背景主要集中在自然、交通和公共设施层面上,对于政策法律、科技进步等并没有给予充分的考虑. 不同的环境因素对于主体行为的影响各异,若没有全面考虑将会影响模拟,造成模拟结果出现一定程度的误差. 对于主体的研究,多主体模型是从“人”的角度出发,往往涉及到心理学、社会学、经济学等学科,是目前研究的难点之一,也是容易被忽视的问题之一,易导致模型中的主体与现实差距甚远,主要体现在主体的选择和主体的行为规则制定上. 因此,完善模型中的环境背景和主体研究能够让模型更贴近现实.(2)模拟尺度的扩展和“土地利用 - 环境 - 主体”多元化是多主体模型发展的趋势之一. 现有的模型多以区域尺度研究为主,从乡镇到县市,在国家尺度或更大尺度范围内进行模拟的研究很少. 此外,多主体模型在土地利用变化模拟的研究区中,主要集中在城市和平原地区,应用于山区的模型研究很少. 我国是一个山地资源丰富的国家,山区的土地利用资源优化研究有利于提高我国土地利用效率,因此多主体模型在山地土地资源的应用非常必要,是今后研究的方向之一,能为国家土地利用政策的制定提供参考.(3)探索科学可靠的验证方法是多主体模型亟待解决的难点之一. 主体模型提供了建立模型的框架,但模型的灵活性增加了模型的不确定性,因此,很难有统一的模型,同时为模型的验证和移植带来了困难[69]. 目前,多主体模型的模拟精度及其仿真效果还没有统一的验证方法,使得模型在应用中有所限制. 因此,模型的验证问题是迫切需要解决的重要问题.

多主体模型在土地利用动态模拟中取得了很大的发展,引导研究者从多学科、多视角和多尺度分析来解释土地利用变化的复杂性,从多技术的使用来模拟土地利用的动态变化,为土地资源管理和区域可持续发展政策的制定提供借鉴. 但模型在未来的应用中仍存在一些需深入讨论的问题,而正是因为这些挑战的存在,不断推进了多主体模型在土地利用变化应用的进程.

参 考 文 献

[1] 林培. 土地资源学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1996.

[2] 刘彦随,杨子生. 我国土地资源学研究新进展及其展望[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 353 - 360.

[3] Turner II B L, Ross R H, Skole D L. Relating land use and global land cover change[R]. IGDP Report No. 24 and No. 5. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences, 1993.

[4] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change science/Research plan[R]. IGBP Report No. 35 and IHDP Report No. 7. Stochkholm: IGBP, 1995.

[5] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N. Land-use and land-cover change: implementation strategy[R]. IGBP Report No. 48/IHDP Report No. 10, IGBP, Stockholm, 1999.

[6] 陈佑启,杨鹏. 国际上土地利用/土地覆被变化研究的新进展[J]. 经济地理, 2001, 21(1): 95 - 100.

[7] 赵米金,徐涛. 土地利用/土地覆被变化环境效应研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 43 - 45.

[8] 唐华俊,陈佑启,邱建军,等. 中国土地利用/土地覆被变化研究[M]. 北京: 中国农业科学科技出版社, 2004.

[9] 史培军,宫鹏,李晓兵,等. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[10] 蔺卿,罗格平,陈曦. LUCC 驱动力模型研究综述[J]. 地理科学进展, 2005, 24(5): 79 - 87.

[11] Porter J R. GLP science plan and implementation strategy[R]. IGBP Report No. 53 and IHDP Report No. 19, 2005.

[12] 胡宁科,李新. 历史时期土地利用变化研究方法综述[J]. 地球科学进展, 2012, 27(7): 758 - 768.

[13] Mertens B, Lambin E F. Spatial modeling of deforestation in southern Cameroon[J]. Applied Geography, 1997, 17(2): 143 - 162.

[14] Gilbert N, Troitzsch K. Simulation for the Social Scientist[M]. London, UK: Open University Press, 1999.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[15] Eastman R. Guide to GIS and image processing [M]. Clark University, Worcester, MA, 1999.
[16] Sklar F H, Costanza R. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: a review and prognosis// Tuner M G, Gardner R H. Quantitative methods in landscape ecology [M]. New York: Springer-Verlag, 1991.
[17] Balling R J, Taber J T, Brown M R, et al. Multiobjective urban planning using a genetic algorithm [J]. Journal of Urban Planning and Development, 1999, 125(2): 86 - 99.
[18] 周成虎,孙战利,谢一春. 地理元胞自动机研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 26 - 49.
[19] Southworth F, Dale V H, O'Neill R V. Contrasting patterns of land use in Rondonia, Brazil: Simulating the effects on carbon release [J]. International Social Science Journal, 1991, 130: 681 - 798.
[20] 刘燕华,葛全胜,张雪芹,等. 关于中国全球环境变化人文因素研究发展方向的思考 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 889 - 895.
[21] Herry P, Guillermo A. Developing multi-stakeholder forest management scenarios: a multi-agent system simulation approach applied in Indonesia [J]. Forest Policy and Economics, 2005,7:475 - 491.
[22] 郁静,曹明明,陈海. 智能体模型在微观土地利用行为模拟中的应用及启示 [J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(4): 56 - 60.
[23] Chebeane H, Echalier F. Towards the use of a multi-agents event based design to improve reactivity of production system [J]. Computers & Industrial Engineering, 1999, 37(1 - 2): 9 - 13.
[24] 余强毅,吴文斌,唐华俊,等. 复杂系统理论与 Agent 模型在土地变化科学中的研究进展 [J]. 地理学报, 2011, 66(11): 1518 - 1530.
[25] Ligtenberg A, Wachowicza M, Bregta A K, et al. A design and application of a multi-agent system for simulation of multi-actor spatial planning [J]. Journal of Environmental Management, 2004, 72(1 - 2): 43 - 55.
[26] 黎夏, 叶嘉安, 刘小平. 地理模拟系统: 元胞自动机与多智能体 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
[27] 裴彬,潘韬. 土地利用系统动态变化模拟研究进展 [J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1060 - 1066.
[28] Ligtenberg A, Bregt A K, Lammeren R V. Multi-actor-based land use modeling: spatial planning using agents [J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 56(1 - 2): 21 - 33.
[29] Brown D, Page S, Riolo R L, et al. Agent-based and analytical modeling to evaluate the effectiveness of greenbelts [J]. Environmental Modeling & Software, 2004, 19(12): 1097 - 1109.
[30] 刘小平,黎夏,叶嘉安. 基于多智能体系统的空间决策行为及土地利用格局演变的模拟 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36(11): 1027 - 1036.
[31] 周淑丽,陶海燕,卓莉. 基于矢量的城市扩张多智能体模拟——以广州市番禺区为例 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(2): 202 - 210.
[32] 杨青生,黎夏,刘小平. 基于 Agent 和 CA 的城市土地利用变化研究 [J]. 地理信息科学, 2005, 2(7): 78 - 93.
[33] 杨青生,黎夏. 多智能体与元胞自动机结合及城市用地扩张模拟 [J]. 地理科学, 2007, 4(27): 542 - 548.
[34] 刘小平,黎夏,艾彬,等. 基于多智能体的土地利用模拟与规划模型 [J]. 地理学报, 2006, 61(10): 1101 - 1112.
[35] 李军,肖德渊,夏斌,等. 基于多智能体与 GIS 的城市土地利用动态模拟系统 [J]. 南昌大学学报: 理科版, 2009, 33(2): 195 - 199.
[36] Arsanjani J J, Helbich M, Vaz E N. Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: the case of Tehran [J]. Cities, 2013, 32: 33 - 42.
[37] 王贞超. 基于 GIS 和 MAS 的城市用地扩展模拟研究 [D]. 南京: 南京大学, 2012.
[38] Peng C, Cheng J Q. Using multi-agent system for residential expansion models——a case study of Hongshan District, Wuhan City [J]. Chinese Geographical Science, 2007, 17(3): 210 - 215.
[39] Kocabas V, Dragicevic S. Bayesian networks and agent-based modeling approach for urban land-use and population density change: a BNAS model [J]. Journal of Geographical Systems, 2013, 15(4): 403 - 426.
[40] Torrens P M. Simulating sprawl [J]. Annals of the Association of American Geographers, 2006, 96(2): 248 - 275.
[41] Bura S, Guérin-Pace F, Mathian H, et al. Multi-agent systems and the dynamics of a settlement system [J]. Geographical Analysis, 1996, 28(2): 161 - 178.
[42] Sanders L, Pumain D, Mathian H, et al. SIMPOP: a multiagent system for the study of urbanism [J]. Environment and Planning B Planning & Design, 1997, 24(2): 287 - 305.
[43] Turner A. Analysing the visual dynamics of spatial morphology [J]. Environment and Planning B Planning & Design,

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2003,30(5): 657 - 676.

[44] Benenson I. Multi-agent simulations of residential dynamics in the city [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1998, 22(1): 25 - 42.

[45] Waddell P A, Borning A, Michael N, et al. Microsimulation of urban development and location choices: design and implementation of UrbanSim [J]. Networks and Spatial Economics, 2003, 3(1): 43 - 67.

[46] Brown D G, Page S E, Riolo R L, et al. Agent-based and analytical modeling to evaluate the effectiveness of greenbelts [J]. Environmental Modeling & Software, 2003, 19(12): 1097 - 1109.

[47] Loibl W, Toetzer T. Modeling growth and densification processes in suburban regions: simulation of landscape transition with spatial agents [J]. Environmental Modelling & Software, 2003,18(6):553 - 563.

[48] Vancher A, Giordano P, Andrey D, et al. Urban growth processing joining cellular automata and multiagent systems [J]. Environment and Planning B Planning and Design, 2008, 35(4 - 5):723 - 739/863 - 880.

[49] Hosseinali F, Alesheikh A A, Nourian F. Agent-based modeling of urban land-use development, case study: Simulating future scenarios of Qazvin city [J]. Cites, 2013, 31(2): 105 - 113.

[50] Zhang J, Wang K, Song G X, et al. Application of multi-agent models to urban expansion in medium and small cities: a case study in Fuyang City, Zhejiang Province, China [J]. Chinese Geographical Science. 2013, 23(6):754 - 764.

[51] Hosseinali F, Alesheikh A A, Nourian F. Assessing urban land-use development: developing an agent-based model [J]. KSCE Journal of Civil Engineering. 2015, 19(1):285 - 295.

[52] Benenson I, Omer S, Hatna E. Entity-based of urban residential dynamics: the case of Yaffo, Tel Aviv [J]. Environment Planning B Planning & Design, 2002, 29(4): 491 - 512.

[53] Fontaine C M, Rounsevell M D A. An agent-based approach to model future residential pressure on a regional landscape [J]. Landscape Ecology, 2009, 24(9): 1237 - 1254.

[54] Filatova T. Empirical agent-based land market: integrating adaptive economic behavior in urban land-use models [J]. Computers Environment and Urban Systems, 2015, 54: 397 - 413.

[55] Castella J C, Boissau S, Trung T N, et al. Agrarian transition and lowland-upland interactions in mountain areas in northern Vietnam: application of a multi-agent simulation model [J]. Agricultural Systems, 2005, 86(3): 312 - 332.

[56] Happe K, Hutchings N J, Dalgaard T, et al. Modelling the interactions between regional farming structure, nitrogen losses and environmental regulation [J]. Agricultural Systems, 2011, 104(3): 281 - 291.

[57] Murray-Rust D, Robinson D T, Guillem E, et al. An open framework for agent based modelling of agricultural land use change [J]. Environmental Modelling & Software, 2014, 61(C): 19 - 38.

[58] Mialhe F, Becu N, Gunnell Y. An agent-based model for analyzing land use dynamics in response to farmer behaviour and environmental change in the Pampanga delta (Philippines) [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012, 16: 55 - 69.

[59] Lansing J S, Kremer J N. Emergent properties of balinesewater temple networks: coadaptation on a rugged fitness landscape [J]. American Anthropologist(New Series), 1993,95(1):97 - 114.

[60] Deadman P, Robinson D, Moran E, et al. Colonist household decisionmaking and land-use change in the Amazon Rainforest: an agent-based simulation [J]. Environment & Planning B Planning & Design, 2004, 31(5): 693 - 709.

[61] Chen H, Liang X Y, Li R. Based on a multi-agent system for multi-scale simulation and application of household's LUCC: a case study for Mengcha Village, Mizhi County, Shanxi Province [J]. Springer Plus, 2013, 2(1): 1 - 8.

[62] 陈海,王涛,梁小英,等. 基于 MAS 的农户土地利用模型构建与模拟——以陕西省米脂县孟岔村为例 [J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1448 - 1456.

[63] 黄河清,潘理虎,王强,等. 基于农户行为的土地利用人工社会模型的构造与应用 [J]. 自然资源学报, 2010, 25(3): 353 - 367.

[64] 高海东. 基于博弈论的农户群体相互作用机理研究——以陕西省米脂县孟岔村为例 [D]. 西安: 西北大学, 2009.

[65] Evans T P, Kelley H. Assessing the transition from deforestation to forest regrowth with an agent-based model of land cover change for south-central Indiana(USA) [J]. Geoforum, 2008, 39(2): 819 - 832.

[66] Gaube V, Kaiser C, Wildenberg M, et al. Combining agent-based and stock-flow modeling approaches in a participative analysis of the integrated land system in Reichraming, Austria [J]. Landscape Ecology, 2009, 24(9): 1149 - 1165.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[67] Miller B W, Breckheimer I, Mccleary A L, et al. Using stylized agent-based models for population-environment research: a case study from the Galápagos Islands [J]. Population and Environment, 2010, 31(6): 401 - 426.

[68] Tang H J, Wu W B, Yang P, et al. Recent progresses of land use and land cover change (LUCC) models [J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 456 - 468.

[69] 田光进,邬建国. 基于智能体模型的土地利用动态模拟研究进展 [J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4451 - 4459.

A Review on Multi-Agent Model for the Simulation of Dynamic Change of Land Use

Zuo Liangyou[1]　Dai Erfu[2]　Zhang Mingqing[1]

(1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing　100048; 2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing　100101)

Abstract

Land use is a complex and dynamic process. As a means of complex system research, multi-agent model can better simulate the complexity of the land system, and has great application prospects. In this paper, the basic theory and concept of multi-agent model were introduced, the situation of dynamic simulation in urban and rural land use with multi-agent model was analyzed, the applications of multi-agent model in land use were summarized, and the direction of land use simulation was discussed.

Key words: multi-agent model, land use, dynamic, simulation, application.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net