

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

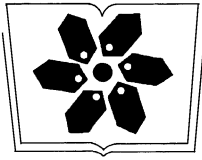
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 6 期

2013 年 3 月 (半月刊)

目次

专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)
Agent 农业土地变化模型研究进展..... 余强毅,吴文斌,杨 鹏,等 (1690)

个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布..... 王 彬,秦宇博,董 婧,等 (1701)
口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)
中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系..... 朱万龙,贾 婷,黄春梅,等 (1721)
亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响..... 季晓燕,江 洪,洪江华,等 (1731)
浙北地区常见绿化树种光合固碳特征..... 张 娇,施拥军,朱月清,等 (1740)
两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)
基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)
基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究..... 周志军,尚 娜,刘 静,等 (1770)
圈养尖吻蝾螈雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)
应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)
青蒿素对外生菌根真菌化感效应..... 李 倩,袁 玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用..... 李纯厚,林 琳,徐姗姗,等 (1798)
上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响..... 孙鲁峰,柯 昶,徐兆礼,等 (1811)
半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例.....
..... 彭 羽,高 英,冯金朝,等 (1822)
太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)
重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应..... 王轶浩,王彦辉,于澎湃,等 (1842)

景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应..... 岳文泽,徐丽华 (1852)
外来树种桉树引种的景观生态安全格局..... 赵筱青,和春兰 (1860)
基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究..... 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1872)
大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响..... 严 陈,许 静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)
亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)
黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征..... 张丽娜,李 军,范 鹏,等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应..... 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性..... 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应..... 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

湿地自然保护区保护价值评价方法..... 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征..... 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征..... 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化..... 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说: 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112131904

余强毅, 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, 周清波, 陈仲新. Agent 农业土地变化模型研究进展. 生态学报, 2013, 33(6): 1690-1700.

Yu Q Y, Wu W B, Yang P, Tang H J, Zhou Q B, Chen Z X. Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1690-1700.

Agent 农业土地变化模型研究进展

余强毅, 吴文斌, 杨 鹏, 唐华俊*, 周清波, 陈仲新

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100081)

摘要: 农业土地变化是全球变化与可持续研究的热点, 当前研究虽取得了长足进展, 但仍存在诸多不足, 集中表现在对农业土地系统复杂性与动态性的认识不够。近年来, 基于 Agent 的农业土地变化研究 (农业 ABM/LUCC, Agent-based agricultural land change modeling) 逐渐兴起, 极大的丰富了传统研究的理论与方法, 具体表现在: (1) 农业 ABM/LUCC 将微观层面的人类个体行为整合进土地变化研究框架, 有助于更加清楚的认识农业土地系统的“人类-自然”综合复杂性问题。(2) 农业 ABM/LUCC 能够动态表达土地系统变化的内生反馈机制, 有助于弥补传统的静态土地变化驱动机制分析的不足。(3) 基于 ABM/LUCC 的农业土地利用格局动态研究是整合“人类-自然”综合研究的关键桥梁, 农业 ABM/LUCC 能够与其他生物地球物理模型或经济模型动态嵌套, 使多尺度、多维度综合模型研究成为可能。然而, 农业 ABM/LUCC 研究也存在诸多挑战, 如理论研究滞后于应用研究, 大尺度应用难以开展, 以及农户行为的模拟结果很难得到校验等。

关键词: ABM/LUCC, 农业土地变化, 复杂性, 动态性, 耦合的“人类-自然”系统

Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review

YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, TANG Huajun*, ZHOU Qingbo, CHEN Zhongxin

Key Laboratory of Agri-informatics, Ministry of Agriculture / Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: Agricultural land use and land cover change (Agri-LUCC) is one of the key issues among global change and sustainability studies. Year-on-year progress makes “agricultural land change” to be an emerging interdisciplinary science. As an effective tool for understanding the driver, process and consequence of Agri-LUCC, spatially-explicit land change models have successfully applied in representing agricultural landscapes and its possible developments across scales. Although several breakthroughs have been achieved by traditional land change modeling, there are still many crucial issues remain unsolved, especially the insufficient cognition on the complexity and dynamics of agricultural land systems. Recently, some researchers begin to combine agent-based models (ABM, one of the key tools for complex system studies) with land change models, bringing a new emergence of model series in the agricultural land change modeling community, which are called as Agri-ABM/LUCCs. Progress in this field can be summarized as: (1) Based on the complexity system theory, most of these models bring theoretical and methodological innovations in analyzing the complexity of agricultural land systems. (2) These models innovatively take land use decisions at individual level into consideration, based on which to recognize the role of decision makers bringing about changes, through their choices, on regional level landscapes. Such “modeling with stakeholders” underlines the role of farmers in agricultural transformation, facilitating the expression of diversified decisions on agricultural land use from heterogeneous farmers. (3) Agri-ABM/LUCC links “land change driving

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41271112, 40930101); 国家重点基础研究发展计划项目 (2010CB951504); 国际科技合作项目 (2010DFB10030); 农业部农业科研杰出人才基金

收稿日期: 2011-12-13; **修订日期:** 2012-05-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tanghuajun@caas.cn

forces” with “land use consequences” as an endogenous feedback loop in agricultural land change processes. This tightly coupled method describes a better feature of agricultural land dynamics, which is essential for analyzing the vulnerabilities, impacts, and adaptation in agricultural land change context. (4) From the recent literature, a wide range of issues related to farmer’s decisions on their land were discussed, including deforestation, agricultural expansion, crop allocation, resource management, and settlement and livelihood decisions. In these studies, various methods and approaches were used in representing farmer’s decisions. Methods include linear programming model, optimization model, heuristic imitative and innovative decision-making algorithms, utility function, decision tree, evolutionary programming, probabilistic method, participatory modeling, role playing game, bounded-rational approach, spatial multi-nominal logistic functions, among others. (5) This new perspective provides a way to dynamically link agricultural land change assessments for integrated human-natural studies. On one hand, consequence of agricultural land change can be used to forecast crop production then to develop food security scenarios; on the other hand, the same land change result is valuable for predicting carbon-nitrogen cycling processes, consequently for projecting carbon sequestration within large scale agricultural landscapes. Scenarios of food and ecological security provide feedbacks to individual farmers to alter their decisions of land use in turn. Beside the progress, however, problems of current Agri-ABM/LUCCs still exist, such as “theory divorced from practice”, deficiency in cross-site comparison, and difficulties in carrying out large-scale modeling. The most critical problem is that other than the common characteristics of complex adaptive systems, some of the special features of agricultural land systems exist in their spatial-temporal dynamics, scaling effects, coupled human and natural issues, and multi-dimension feedbacks. These features are still not well examined in the current studies, which require further in-depth discussions in the future.

Key Words: ABM/LUCC; agricultural land change; complexity; dynamics; coupled human-natural systems

人类生活在一个“人类社会-自然环境交互作用的耦合系统”中^[1],从自然界索取资源要素(如食物、能源、原材料等),服务于自身发展。土地作为一种重要的综合性资源,不仅是人类居住、生活的场所,同时又是人类从事各种活动最基本的生产资料和劳动对象。据统计,人类所需绝大部分的食物供给与原材料供给均产出自农业用地,这使得人类活动与自然因素综合作用的农业土地系统^[2]成为人类-自然关系最为重要桥梁和纽带。全球变化背景下,人类活动与自然因素的综合作用使得农业土地利用与覆被格局不断变化,给全球可持续发展带来了巨大的挑战^[3]。在地理科学、生态学、全球变化与可持续研究的不断推动下,自 20 世纪 90 年代以来,国际全球环境变化人类行为计划(IHDP)和国际地圈生物圈计划(IGBP)共同执行土地利用/覆被研究(LUCC)与后续全球土地计划(GLP),极大促进了“土地变化科学”的诞生^[2,4],继而推动了农业土地变化研究的长足发展。

农业土地变化研究主要包括农业土地变化(包括土地利用类型变化,农作物空间格局变化,以及种植制度变化等)的时空过程探测、驱动机制分析、过程仿真模拟及宏观生态效应评价等方面^[5],其核心目的在于理解和解释农业土地系统的“人类-自然”综合复杂关系,进而为可持续发展提供科学服务。然而,目前这一综合复杂关系仍旧很难得到科学合理的解释。原因主要在于:(1)当前许多研究大都基于自然科学方法,注重对农业土地系统中自然环境要素的研究而忽视对人类活动的研究,尤其是忽略微观个体行为的重要作用。(2)当前许多研究大都认同农业土地变化遵循“驱动因子—变化结果”这一静态变化模式而忽视由反馈环路引起的动态变化过程^[6-7],难以真正认识土地变化的驱动机制。近年来,基于主体的模拟(Agent-based modeling, ABM)开始应用于土地变化科学,兴起了农业 ABM/LUCC 研究^[8-9],极大的丰富与发展了传统研究的理论与方法,有助于更加科学的理解和解释农业土地系统的复杂性和动态性问题。本文主要从农业 ABM/LUCC 的理论基础、建模方法、以及跨学科应用等方面展开讨论,旨在为进一步推动农业土地变化研究提供参考。

1 理论基础:复杂系统理论与农业土地系统的复杂性

ABM 是复杂性科学发展的一种“自底而上”的建模方法。复杂系统理论认为复杂自适应系统一般由无数

处于底层的且异质的微观主体所构成,微观主体的活动与系统宏观功能或特征之间会产生协同影响,ABM 的目的即是通过模拟复杂系统中微观主体的行为过程来表达系统宏观层面的作用结果^[9]。ABM 与系统复杂性的关系密不可分,ABM 是认识系统复杂性的重要方法,而系统复杂性又是 ABM 研究的核心理论基础。复杂性科学为传统农业土地变化研究提供全新范式,如何从理论上认识农业土地系统的复杂性是农业土地变化研究面临的新命题^[10]:首先,农业土地系统是人类社会与自然系统的耦合^[1],其内部有复杂的层级或平行关系^[11],是典型的复杂系统^[12]。农业土地系统的复杂性主要来自于两大子系统的不同特质、子系统内部及子系统之间相互联系、相互影响等;其次,除了复杂系统的一般特性外,农业土地系统还表现出时空异质性^[10, 13],尺度敏感性^[14-15],自然与社会综合性^[16],以及系统反馈效应^[7, 17]等特征(图 1)。农业土地系统的复杂性问题是农业土地变化研究的难点之一,具体表现在描述、理解及解释土地利用的时空格局及其动态变化过程^[18]、实现土地变化模拟过程中的尺度转换^[19]、表达人类活动与自然环境的相互作用关系、以及阐明土地系统的控制与反馈机制等。目前对于这些问题的理论认识仍然不足,相关理论研究仍需继续强化。

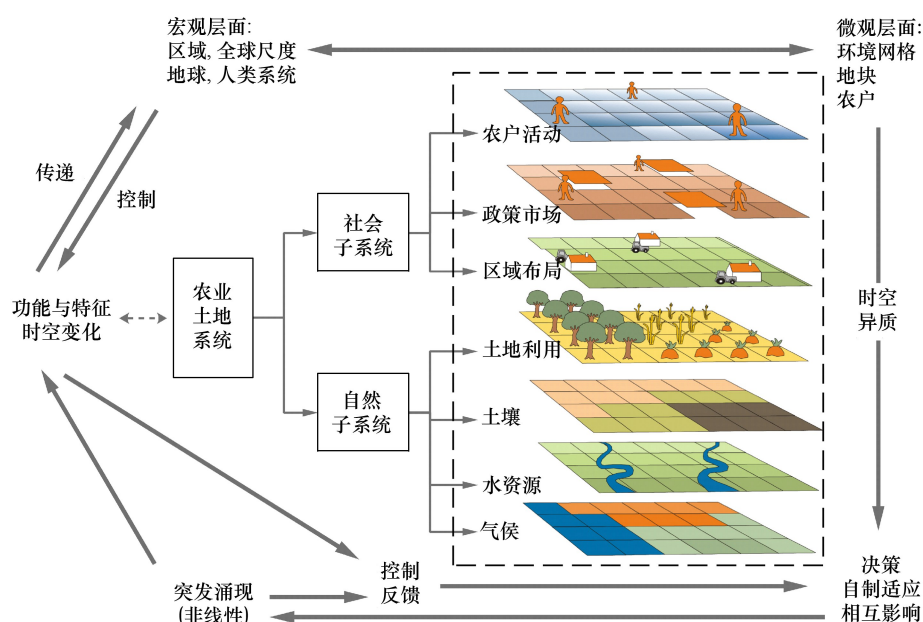


图 1 农业土地系统及其复杂性 (根据文献^[20] 修改)

Fig. 1 Agricultural land system and its complexity (modified from reference^[20])

2 模型研究:基于微观个体行为的建模

模型始终是农业土地变化研究的重点,农业土地变化模型将农业土地系统变化的现实问题归结为相应的数学问题,利用数学的概念、方法和理论进行深入的分析,从定性或定量的角度来刻画实际问题,并为解决现实问题提供数据或可靠的指导。根据模型建立的理论方法,现有的农业土地变化模型可分为经济模型和地理模型^[21]。经济模型又可称作经验统计模型,这类模型仅侧重于研究分析土地变化的数量和速率特征,对变化的空间分布并不给予太多考虑;地理模型又可称作空间显性模型^[22],这类模型基于空间网格,综合考虑诸多限制因素和转换规则,将土地变化变化的数量逐步分配到一定的土地利用空间单元中,从而实现空间显性表达。近 10 多年来,农业土地变化模型发展以空间模型为主,借助于计算机技术、遥感和 GIS 技术,模拟表达一定时空尺度上农业土地变化的空间显性分布和格局特征,分析土地利用的空间格局和生态环境的空间变异性关系,并研究自然、社会经济等驱动因子对土地变化空间差异的影响。然而,这些空间模型共同存在一个不足之处,就是它们都忽略了农业土地系统中人类活动的重要性。

根据 Volk 和 Ewert 的定义,农业系统即是人类主导管理的土地利用系统^[23]。由此可见,人类活动及其决策过程对农业土地变化以及整个农业系统的重要作用。人类活动及行为具有明显的层级性,由宏观至微观可

具体分为:政府行为、社会行为、与个体行为^[24]。其中,政府行为、社会行为存在明显的宏观性,其代表着人类活动的一般性趋势与特征。而个体行为却与之相反,不同个体间的异质性导致他们决策行为的呈多样化态势,且一般来说,个体行为对事物的发展更加具有决定作用。目前,环境模拟领域已经开始重视“基于利益相关者建模”的思想^[25]。当前一些研究开始将农户的接受意愿作为评价市场与政策影响机制的关键转换器,而不再是直接评价市场与政策因素对宏观农业产出的影响^[26]。同时也有一些研究开始将宏观层次上农业土地利用空间格局理解成农户选择决策行为和过程的汇总和综合,即宏观尺度格局是从微观过程涌现出来的^[27]。尤其是近年来,ABM 在社会学模拟方面取得了重要进展^[28],已经能够科学的模拟人类自组织决策行为的过程与效应。为此,许多学者将 ABM 整合到土地变化模型中,使关注微观个体行为的农业土地变化模型研究成为可能。环境因素对异质的微观主体的作用效果不能简单地一概而论,ABM/LUCC 虽然不能精确的模拟每一个微观主体的决策行为,但通过对微观决策结果的汇总与综合,其对系统宏观状态的预测往往较为科学。农业 ABM/LUCC 模型即是通过研究微观主体(一般指农户)的行为活动与其所处环境的自组织适应关系,预测农户的土地利用决策行为,进而表达宏观尺度土地利用格局的动态变化过程。

3 驱动机制:人类行为对环境的动态响应

土地变化驱动机制分析同样是农业土地变化研究的重点,其直接揭示了土地变化的原因及影响因素的作用途径,是构建土地变化模型的基础。影响土地变化的驱动因子主要包括自然条件、气候变化、经济规模、产业结构、管理政策、和人口结构等,传统研究通过应用多种系统分析与数理统计方法建立土地变化与这些驱动因子之间的关系,从而定量表达土地变化的驱动机制^[5, 29]。然而,这类方法却存在很多局限:第一是仅从宏观角度解释。经验统计方法仅仅能从宏观层面对土地变化的驱动机制进行解释,而忽视土地利用微观主体对土地利用格局的影响,存在明显的片面性。第二是研究思路相对静态。传统方法习惯将驱动因子与变化结果静态分割,即简单的认为驱动因子决定了土地变化的结果,而忽略了土地变化的结果与效应对驱动因子会有反馈作用,另或仅仅把系统内生的反馈机制当成外生的“输出转输入”的问题来考虑^[30],这些假设均难以科学表达土地系统变化的内在原因。第三是属性数据间化存在困难。当前许多土地变化研究均是基于空间网格单元的分析,这就需要将各种属性数据进行空间网格化处理,其中自然属性空间化可以通过地理差值等方法实现,而社会经济数据的空间化往往比自然属性空间化更为复杂。第四是尺度问题。当前许多研究忽视对空间幅度、空间粒度、时间幅度、时间粒度、以及土地分类精度等主要尺度问题的分析处理^[29],造成大量误差。第五是统计分析中,由于变量选择、模型选择或检验准则设置不当,造成的伪回归、自相关、以及多重共线性等问题。这些问题若缺乏合理处理,土地变化驱动机制分析的结果则可能毫无意义。

Hersperger 等人认为土地变化的驱动机制至少应该包括 4 种模式,除传统的“驱动因子—变化结果”模式外,还应包括考虑主体决策因素在内的其他模式(图 2)。这 4 种模式各有特点,选择哪种模式进行土地变化驱动机制分析需根据研究内容与目的具体考虑^[31]。农业土地系统中,农户是决定农业土地利用方式的直接主体,其决策行为受自身因素与外部环境的共同影响,且最终作用于土地利用格局。由于不同决策主体具有不同的自治性、学习性、适应性等特征,主体间的土地利用行为也将呈现显著的差异性、动态性和相关性^[32]。农业 ABM/LUCC 为土地变化驱动机制分析提供了一种可行的解决思路:驱动因子的作用对象不再直接是土地利用空间单元(地),而是土地利用的决策主体(人),可通过研究农户行为对驱动因子的响应进而模拟土地利用空间格局变化。这种假设在一定程度上能够更为科学合理的解释农业土地变化的原因和过程,此外还可以更好的表达土地系统的“人类-自然”综合复杂关系。

影响与适应是全球变化研究的两大核心内容^[33]。对于农业系统而言,土地利用与覆被变化既可被当成是全球变化的主要组成部分之一,其与气候变化、社会经济等因素共同对农业结构、布局产出等造成影响;但同时,由于人类活动或其他干预因素的存在,农业土地变化又可被视为人类适应全球变化的动态响应,而这恰恰被传统研究思路所忽视。例如,近年来我国东北地区水稻种植面积的扩张并不单纯由气候变暖引起,其中农户适应行为的贡献可能更大^[34]。农户适应行为具体指农户在应对自然(或社会经济)环境变化时做出的

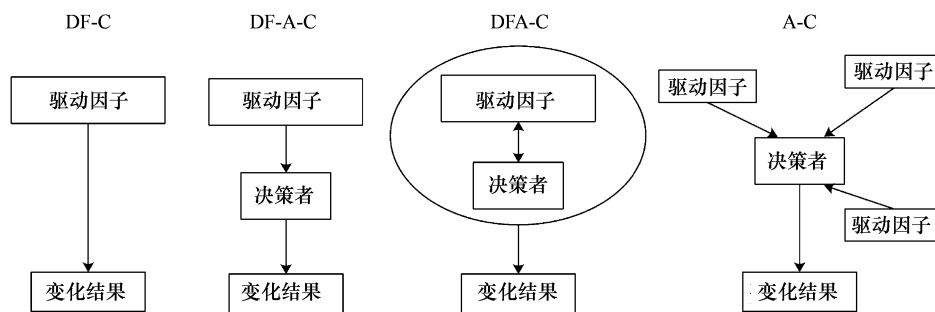


图2 土地变化驱动机制的4种模式

Fig. 2 Four conceptual models for linking land change (C) with driving forces (DF) and actors (A) in land change studies

根据文献^[31]修改,其中DF表示驱动因子,A表示决策者,C表示变化结果,DF-C模式不考虑主体的决策行为,驱动因子直接作用于土地变化过程;DF-A-C模式主要考虑驱动因子作用效果的转换过程,即驱动因子通过影响主体决策行为进而作用于土地变化;DFA-C模式主要考虑驱动因子与主体决策者之间的相互影响;A-C模式重点突出主体决策者的作用

经营策略调整,以最大限度的满足自身需求。农户适应行为可被视为驱动因子与土地变化结果间的关键内生反馈,原因在于农户往往会以最近的土地系统状态作为其下一步适应决策的基础,这就显著的改变初始驱动因子的作用效果,使得驱动因子与变化结果之间形成了动态的闭合环路。简而言之, t_0 时刻的土地系统状态可能是 t_1 时刻土地变化的驱动因子,通过影响农户决策行为再次作用于农业土地变化过程(图3)。

基于地理空间单元的驱动机制分析能很好的模拟土地利用空间格局的变化,但缺乏时间动态特征;ABM与其他研究方法的根本不同在于ABM能够充分表达系统内部的反馈作用^[35],因此基于ABM的驱动机制分析能合理的表达系统变化的时间动态过程,二者正好相互补充^[36]。如果将基于ABM与基于地理空间单元的驱动机制分析相结合研究农业土地系统的变化过程,则可能更加科学合理的表达农业土地变化的时空动态特征。此外,基于农户个体决策行为的农业ABM/LUCC研究,不仅能够从宏观—微观相结合的角度动态的解释土地变化的驱动机制,而且还能有效的避免社会经济数据空间化、空间尺度效应、统计方法应用不当等问题,为传统土地变化驱动机制分析提供有效的方法补充。

4 建模方法:表达农户决策过程

农业ABM/LUCC模型一般由表达空间要素的CA与表达主体行为的ABM组成^[8]。其中,农户或者个体农民一般被定义成主体,主体与地块之间存在较为固定的空间对应关系(同一主体可拥有多个地块,但非同一地块可归属多个主体),主体的行为对该地块的土地利用方式具有决定性作用。主体之间的异质性导致他们决策行为的多样化,而人类行为的决定性以及“主体—地块”的对应性导致地块的土地利用方式亦呈多样化态势。农业ABM/LUCC即是通过模拟主体结构或决策行为的变化,表达这些变化过程对宏观层面土地利用方式与格局的影响。具体而言,主体结构变化包括人口增长^[37]、迁徙^[38-39]等;而决策行为变化包括定居选择^[40]、生计选择^[41]、毁林造田^[42]、土地配置^[43]、投资及市场^[44-45]、权属变更^[46-47]、农作物选择^[48]等。虽然农业ABM/LUCC建模方法多样,没有统一的建模标准,建模者可根据不同的研究目的来构建模型,具有较强的

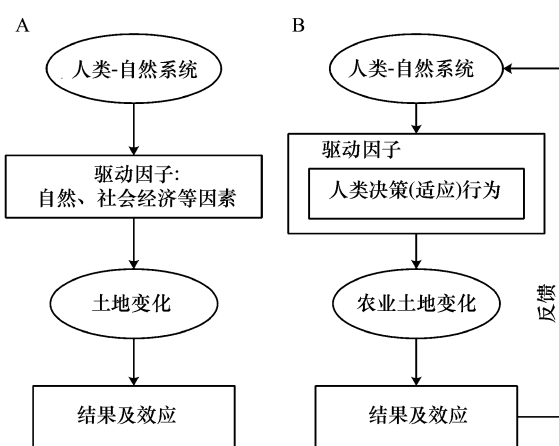


图3 土地变化驱动机制分析的静态模式与动态模式

Fig. 3 Static (A) and dynamic research framework (B) for land change studies

根据文献^[24]修改,静态模式(A)中驱动因子与土地变化结果静态分离,驱动因子引起土地变化;动态模式(B)中,农业土地利用时空格局变化既是全球变化的组成部分,又是人类适应全球变化的动态响应,人类适应行为是土地系统内生反馈机制,其使得驱动因子与土地变化结果之间形成动态闭合环路

主观性;但是,诸多农业 ABM/LUCC 均将如何科学表达农户决策过程作为其建模的核心。

较早关于农业 ABM/LUCC 的研究见于 Balmann 在 1997 年开发的一个基于 Agent 的线性规划模型,该模型分析了不同政策下农场间的竞争关系以及由此引起的农业土地变化^[45]。受此启发,Berger 设计了一个类似的最优模型研究异质农户间的土地利用行为选择问题,包括农户如何选择应用新技术,及如何参与土地市场活动等^[47]。多年来,这两个基础模型不断地得到改进与发展。Balmann 与 Happe 等人将前者开发成了更接近经济模型的 AgriPoliS^[49];而 Berger 与 Schreinemachers 等人集成了大量内生的生物物理模块,将后者设计成了 MP-MAS^[50]。AgriPoliS 与 MP-MAS 均成功的在多个研究区域模拟了未来农业土地变化的情景,为政府进行决策和制订相关农业/土地政策提供了很好的支持。Polhill 等人 在其开发的 FEARLUS 模型中应用了启发式模仿与改进的算法表达决策过程,这种方法突出体现了决策过程中主体之间的相互作用与影响^[51],在后续研究中,FEARLUS 不断将自然、社会经济、政策、以及偏好等因整合进初始研究框架,模型表达更加真实^[44]。Evans 等人较早利用一个效用模型模拟了农户土地利用行为的动态变化过程以及其对应的地块尺度的土地利用变化^[52],在后续的研究中,他们又将移民潮、人口变动等因素整合进来,并完整的模拟了历史时期的毁林造田—弃田再生林过程^[53]。同样以毁林造田为研究对象,Deadman 等人使用启发式与决策树相结合的方法表达决策过程^[54];而 Manson 认为农户在决策过程中仅表现出有限理性,即“最优选择”并不一定是农户的“最终选择”,因此,他在模型中加入了演化算法以更加真实的表达农户决策过程^[42]。Matthews 在表达决策时实现了静态与动态的结合,即初始状态下,农户决策行为由初始参数决定;而当模型运转之后,决策就由上一时刻的模拟结果决定^[48]。Valbuena 等人使用了一个较为简单的概率方法来表达农户决策^[46],但这一方法基于了细致的农户分类研究^[55],他们认为农户类型与决策行为之间存在一定的对应关系。Mena 等人同样应用了概率方法,但与 Valbuena 等人的方法不同,其将农户的经营策略以特定比例行为限定为“最大收益”、“模仿”、“随机”3 种,而这 3 种经营策略下又分别对应具体的土地利用决策行为^[39]。Becu 等人、Ziervogel 等人均应用了参与式模拟或角色扮演的方法定性表达农户的决策意向^[56-57],是传统经验研究方法的重要补充。此外,一些农业 ABM/LUCC 还应用了多种方法的集成。如,Gaube 等人开发的 SERD 模型中集成了决策树与概率判定的方法^[58];Castella 等人将启发式方法和参与式模拟相结合^[59];而 Le 等人的 LUDAS 模型中集成了有限理性理论、最大效用模型、空间多项式 Logistic 回归以及启发式算法等多种方法^[60]。这些农业 ABM/LUCC 模型在如何表达农户决策方面进行了诸多探索,为模型应用、改进以及新模型设计提供了有益的参考(表 1)。

5 跨学科应用:整合“人类-自然”综合研究

ABM 与 LUCC 模型的结合,为研究土地系统动态变化提供了很好的解决思路。然而,复杂系统理论的意义远不仅限于研究“微观主体活动—宏观系统状态”,还需考虑多重反馈机制、系统综合效应等多方面问题。对农业土地系统而言,系统反馈与综合效应包括:人类活动与生态安全的对立、人口膨胀与粮食安全的对立、全球环境变化与可持续发展的对立等一系列重大问题。为此,基于 ABM/LUCC 开展多尺度、多维度研究意义重大。早期的 ABM/LUCC 一般将人类行为与地块特征简单等同一致,而最近一些综合模型将 Agent 行为过程(或结构动态过程)与土地变化过程相独立,并通过生物物理机制或经济学机理进行结合。具体的,这些研究尝试将 ABM 模块、LUCC 模块以及其他模型模块互相嵌套,发展多尺度、多层次的综合模型,用以研究土地系统变化的过程、原因、结果及综合效应。如 AgriPoliS 与 SERD 将 ABM/LUCC 与碳氮循环模型进行整合,研究土地变化的生态效应;而 MP-MAS 与 FEARLUS 将 ABM/LUCC 与生物物理模型进行整合,研究农业土地系统的综合产出;此外一些城市—农田配置模型将 CA 与 ABM 结合,并将效益分析、情景分析等方法整合在内,为政策评价提供了更为可靠的依据。

农业 ABM/LUCC 不仅能够增进人们对农业土地系统复杂性及其时空动态性的理解,还能更加紧密的耦合农业土地系统与其他系统的响应关系,从而更好的整合“人类-自然”综合研究。例如,农作物时空格局是一个地区或生产单位作物种植结构、熟制与种植方式的表达,反映了人类农业生产在空间范围内利用农业生产资源的状况,是人类根据当前的自然环境条件、以及经济政策条件等进行作物结构调整和优化的依据。农作

表 1 主要农业 ABM/LUCC 的建模方法对比

Table 1 Comparison on the current agent-based agricultural land change models

模型名称 Model Name	主要研究人员 Model Developers	决策内容 Decisions on land use	核心建模理论或方法 Theory and Method	最近文献时间/地点 Time/Location
AgriPoliS	Happe 等	农业生产与投入、土地配置	线性规划模型	2011 ^[49] /多个区域
MP-MAS	Schreinemachers 等	农业生产与投入、资源利用	最优模型	2011 ^[50] /多个区域
—	Mena 等	毁林、农业扩张、定居选择	概率方法	2011 ^[39] /厄瓜多尔
FEARLUS	Polhill 等	土地利用方式、土地市场	启发式模仿与改进的算法	2010 ^[44] /多个区域
ILLUM	Miller 等	生存方式选择	最大效用函数	2010 ^[41] /厄瓜多尔
LUDAS	Le 等	农业生产与投入、资源利用	有限理性理论、启发式方法	2010 ^[60] /越南
—	Valbuena 等	农业经营方式	概率方法、农户分类	2010 ^[46] /荷兰
RegMAS	Lobianco	农业经营方式	线性规划模型	2010 ^[61] /意大利
LUC-ASM	黄河清 等	农业经营方式	农户分类	2010 ^[62] /中国
—	陈海 等	作物选择	农户分类、BDI 决策法	2010 ^[19] /中国
SERD	Gaube 等	农业经营方式	决策树、概率判定	2009 ^[58] /奥地利
—	Bakker 等	造林、弃耕、恢复性耕作	Logistic 回归、农户分类	2009 ^[63] /葡萄牙
LUCIM	Evans 等	毁林造田、弃田再生林	最大效用函数	2008 ^[53] /美国
CATCHSCAPE	Becu 等	作物选择、劳动力投入	启发式方法、参与式模拟	2008 ^[64] /泰国
—	Entwisle 等	定居选择、作物选择	二项 Logistic 回归	2008 ^[38] /泰国
—	Acosta-Michlik 等	全球变化农业经营适应行为	行为模型	2008 ^[65] /菲律宾
HELIA	Manson	毁林造田、土地配置	效用函数、有限理性理论	2007 ^[42] /墨西哥
PALM	Matthews	畜牧业、作物选择	两阶段决策树法	2006 ^[48] /尼泊尔
MameLuke	Huigen 等	定居选择	启发式方法	2006 ^[66] /菲律宾
—	Jepsen 等	轮作耕种	离散选择模型	2006 ^[67] /越南
SAMBA	Castella 等	毁林、土地配置、土地流转	启发式方法、参与式模拟	2005 ^[59] /越南
ABSS	Ziervogel 等	基于气候预报的作物选择	角色扮演方法	2005 ^[56] /莱索托
LUCITA	Deadman 等	农业生产与投入、资源利用	启发式方法、决策树	2004 ^[54] /巴西

物时空格局变化是自然科学领域与社会科学领域共同关注的热点问题,实现对其模拟与表达意义重大。一方面,农作物分布格局以及种植方式变化等因素会显著的改变这一区域的生物多样性与农田碳氮循环过程,这是全球气候和环境变化的热点问题;另一方面,农作物时空格局变化与农田碳氮循环过程又会共同作用于粮食生产,从而影响区域粮食安全状况。目前,传统土地变化模型只关注土地利用类型变化(即耕地、林地、建设用地之间的转换),很难表达农作物时空格局动态过程^[9, 68]。农业 ABM/LUCC 能够很好的表达这一动态过程,进而继续整合“人类-自然”综合研究。具体的:(1)通过表达自然因素和社会经济因素对农户土地利用行为的作用,进而模拟农作物时空格局变化。(2)在此基础上分别继续嵌套农田碳氮模型或作物产量模型,实现区域生态/粮食安全评价,并模拟得到下一时刻自然—社会经济综合情景。(3)自然—社会经济综合情景会衍生新的自然环境约束条件、政策管理措施等,这些因素继续影响农户行为,形成“人类-自然”系统内部闭合反馈机制,从而实现农户行为—农作物时空格局—综合情景—农户行为的动态模拟过程(图 4)。

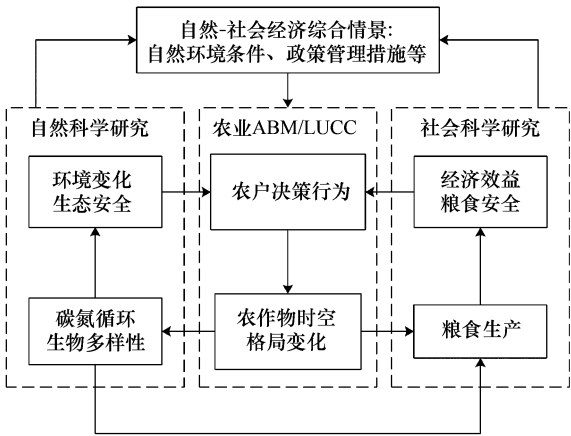


图 4 农业 ABM/LUCC 在“人类-自然”综合研究中的关键作用
Fig. 4 Linking agricultural land change assessments for integrated human-natural studies

6 结语

近年来,农业 ABM/LUCC 极大的推动了农业土地变化研究的发展。尤其是,其将微观层面的人类个体行为整合进了传统的基于自然科学研究方法的土地变化研究框架,这有助于更加清楚的认识农业土地系统“人类-自然”综合复杂性的生成和演化机制,同时有助于搭建自然科学和社会科学的交叉融合平台,为整合“人类-自然”综合研究提供了可能。此外,通过研究农户对自然因素与社会因素变化的综合动态适应结果分析农业土地变化的驱动机制,进而表达农业土地利用格局的动态变化过程与内生反馈机制,不论在理论上还是在方法上均有一定的新颖性,是将土地变化研究推向景观动态研究的一种可能手段。

然而,当前农业 ABM/LUCC 研究仍旧面临诸多难点和挑战。其中最为普遍的问题就是重视 ABM/LUCC 模型的应用而忽视对“人类-自然”系统综合复杂性的理论探讨。农业 ABM/LUCC 研究需要在复杂性科学及相关理论的指导下,继续加强自身理论体系建设,为模型与方法的应用提供有力的理论支撑。农业 ABM/LUCC 模型设计较为随意,模型间差异太大,不利于跨区域比较研究的开展^[69-70]。对此,一些研究人员已经开始注意到 ABM/LUCC 模型标准化设计的重要性^[71-72]。如何科学表达农户决策始终是构建 ABM/LUCC 的核心内容,通过本文不难发现:“外部环境因素”通过农户“自身属性”决定其决策,而其中“最大效益”、“有限理性”、“启发学习”是影响农户决策的 3 个主要途径,这可以作为农业 ABM/LUCC 模型设计的重要参考。农业 ABM/LUCC 的构建需要详细的农户属性及行为数据为支撑^[73],这极大的限制了其在大区域尺度及全球尺度下的应用,同时,农户行为的模拟结果也很难得到校验,如何有效地解决这些问题有待深入研究。

References:

- [1] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, Folke C, Alberti M, Redman C L, Schneider S H, Ostrom E, Pell A N, Lubchenco J, Taylor W W, Ouyang Z Y, Deadman P, Kratz T, Provencher W. Coupled human and natural systems. *Ambio*, 2007, 36(8): 639-649.
- [2] Global Land Project. Science Plan and Implementation Strategy. Stockholm: IGBP Secretariat, 2005: 64-64.
- [3] Foley J A, de Fries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter S R, Chapin F S, Coe M T, Daily G C, Gibbs H K, Helkowski J H, Holloway T, Howard E A, Kucharik C J, Monfreda C, Patz J A, Prentice I C, Ramankutty N, Snyder P K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [4] Turner II B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [5] Liu J Y, Deng X Z. Progress of the research methodologies on the temporal and spatial process of LUCC. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(3): 1-9.
- [6] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, Alberti M, Folke C, Moran E, Pell A N, Deadman P, Kratz T, Lubchenco J, Ostrom E, Ouyang Z Y, Provencher W, Redman C L, Schneider S H, Taylor W W. Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 2007, 317(5844): 1513-1516.
- [7] Verburg P H. Simulating feedbacks in land use and land cover change models. *Landscape Ecology*, 2006, 21(8): 1171-1183.
- [8] Parker D C, Manson S M, Janssen M A, Hoffmann M J, Deadman P. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(2): 314-337.
- [9] Yu Q Y, Wu W B, Tang H J, Yang P, Chen Z X, Chen Y Q. Complex system theory and agent-based modeling: progresses in land change science. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1518-1530.
- [10] Manson S, O'Sullivan D. Complexity theory in the study of space and place. *Environment and Planning A*, 2006, 38(4): 677-692.
- [11] Turner B L, Matson P A, McCarthy J J, Corell R W, Christensen L, Eckley N, Hovelsrud-Broda G K, Kaspersen J X, Kaspersen R E, Luers A, Martello M L, Mathiesen S, Naylor R, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A, K H S, Tyler N. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(14): 8080-8085.
- [12] Parker D C, Hessel A, Davis S C. Complexity, land-use modeling, and the human dimension: fundamental challenges for mapping unknown outcome spaces. *Geoforum*, 2008, 39(2): 789-804.
- [13] Thrift N. The place of complexity. *Theory, Culture and Society*, 1999, 16(3): 31-69.

- [14] Phillips J D. Methodology, scale, and the field of dreams. *Annals of the Association of American Geographers*, 1999, 89(4): 754-760.
- [15] Walsh S J, Evans T P, Welsh W F, Entwisle B, Rindfuss R R. Scale dependent relationships between population and environment in northeast thailand. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1999, 65(1): 97-105.
- [16] Milne E, Aspinall R J, Veldkamp T A. Integrated modelling of natural and social systems in land change science. *Landscape Ecology*, 2009, 24(9): 1145-1147.
- [17] Claessens L, Schoorl J M, Verburg P H, Geraedts L, Veldkamp A. Modelling interactions and feedback mechanisms between land use change and landscape processes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 129(1/3): 157-170.
- [18] Crawford T W, Messina J P, Manson S M, O'Sullivan D. Complexity science, complex systems, and land-use research. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2005, 32(6): 792-798.
- [19] Chen H, Yang W G, Liang X Y, Wang T. 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. *Geographical Research*, 2010, 29(8): 1519-1527.
- [20] Berger T, Schreinemachers P, Woelcke J. Multi-agent simulation for the targeting of development policies in less-favored areas. *Agricultural Systems*, 2006, 88(1): 28-43.
- [21] Heistermann M, Müller C, Ronneberger K. Land in sight?: Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modeling. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 114(2/4): 141-158.
- [22] Pontius R G, Boersma W, Castella J C, Clarke K, de Nijs T, Dietzel C, Duan Z Q, Fotsing E, Goldstein N, Kok K, Koomen E, Lippitt C, McConnell W, Mohd Sood A, Pijanowski B, Pithadia S, Sweeney S, Trung T, Veldkamp A, Verburg P. Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. *The Annals of Regional Science*, 2008, 42(1): 11-37.
- [23] Volk M, Ewert F. Scaling methods in integrated assessment of agricultural systems-state-of-the-art and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 142(1/2): 1-5.
- [24] Yu Q Y, Wu W B, Yang P, Tang H J. Global change component or human dimension adaptation? An agent-based framework for understanding the complexity and dynamics of agricultural land systems. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13: 1395-1404.
- [25] Voinov A, Bousquet F. Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling and Software*, 2010, 25(11): 1268-1281.
- [26] Reganold J P, Jackson-Smith D, Batie S S, Harwood R R, Kornegay J L, Bucks D, Flora C B, Hanson J C, Jury W A, Meyer D, Schumacher A Jr, Sehmsdorf H, Shennan C, Thrupp L A, Willis P. Transforming U. S. Agriculture. *Science*, 2011, 332(6030): 670-671.
- [27] Overmars K P, Verburg P H, Veldkamp T A. Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model. *Land Use Policy*, 2007, 24(3): 584-599.
- [28] Berry B J L, Kiel L D, Elliott E. Adaptive agents, intelligence, and emergent human organization: capturing complexity through agent-based modeling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, 99(Suppl 3): 7187-7188.
- [29] Yan X, Cai Y, Chen R, Li H. Scale issues in the driving force analysis of land change. *Progress in Geography*, 2010, 29(11): 1408-1413.
- [30] Veldkamp A. Investigating land dynamics: future research perspectives. *Journal of Land Use Science*, 2009, 4(1/2): 5V14.
- [31] Hersperger A M, Gennaio M, Verburg P H, Bürgi M. Linking land change with driving forces and actors: four conceptual models. *Ecology and Society*, 2010, 15(4): 1V1.
- [32] Bousquet F, Le Page C. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological Modelling*, 2004, 176(3/4): 313-332.
- [33] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 282-292.
- [34] Wang Y, Fang X, Xu T, Dai Y. Impact of climate warming and adaptive activities of rice plantation in Northwest China. *Resources Science*, 2005, 27(1): 121-127.
- [35] Heckbert S, Baynes T, Reeson A. Agent-based modeling in ecological economics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2010, 1185(1): 39-53.
- [36] Castella J C, Verburg P H. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. *Ecological Modelling*, 2007, 202(3/4): 410-420.
- [37] An L, Linderman M, Qi J G, Shortridge A, Liu J G. Exploring complexity in a human-environment system: an agent-based spatial model for multidisciplinary and multiscale integration. *Annals of the Association of American Geographers*, 2005, 95(1): 54-79.
- [38] Entwisle B, Malanson G, Rindfuss R R, Walsh S J. An agent-based model of household dynamics and land use change. *Journal of Land Use Science*, 2008, 3(1): 73-93.
- [39] Mena C F, Walsh S J, Frizzelle B G, Yao X Z, Malanson G P. Land use change on household farms in the Ecuadorian Amazon: design and implementation of an agent-based model. *Applied Geography*, 2011, 31(1): 210-222.
- [40] Kohler T A. *Dynamics in Human and Primate Societies*. New York: Oxford University Press, 2000.
- [41] Miller B W, Breckheimer I, McCleary A L, Guzmán-Ramírez L, Caplow S C, Jones-Smith J C, Walsh S J. Using stylized agent-based models for

- population-environment research: a case study from the Galápagos Islands. *Population and Environment*, 2010, 31(6): 401-426.
- [42] Manson S M, Evans T. Agent-based modeling of deforestation in southern Yucatán, Mexico, and reforestation in the Midwest United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104(52): 20678-20683.
- [43] Chen Y M, Li X, Liu X P, Liu Y L. An agent-based model for optimal land allocation (AgentLA) with a contiguity constraint. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(8): 1269-1288.
- [44] Polhill J G, Sutherland L A, Gotts N M. Using qualitative evidence to enhance an agent-based modelling system for studying land use change. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2010, 13(2): 10-10.
- [45] Balmann A. Farm-based modelling of regional structural change: a cellular automata approach. *European Review of Agricultural Economics*, 1997, 24(1): 85-108.
- [46] Valbuena D, Verburg P H, Bregt A K, Ligtenberg A. An agent-based approach to model land-use change at a regional scale. *Landscape Ecology*, 2010, 25(2): 185-199.
- [47] Berger T. Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. *Agricultural Economics*, 2001, 25(2/3): 245-260.
- [48] Matthews R. The People and Landscape Model (PALM): towards full integration of human decision-making and biophysical simulation models. *Ecological Modelling*, 2006, 194(4): 329-343.
- [49] Happe K, Hutchings N J, Dalgaard T, Kellerman K. Modelling the interactions between regional farming structure, nitrogen losses and environmental regulation. *Agricultural Systems*, 2011, 104(3): 281-291.
- [50] Schreinemachers P, Berger T. An agent-based simulation model of human-environment interactions in agricultural systems. *Environmental Modelling and Software*, 2011, 26(7): 845-859.
- [51] Polhill J G, Gotts N M, Law A N R. Imitative versus non-imitative strategies in a land use simulation. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 2001, 32(1/2): 285-307.
- [52] Evans T P, Manire A, de Castro F, Brondizio E, McCracken S. A dynamic model of household decision-making and parcel level landcover change in the eastern Amazon. *Ecological Modelling*, 2001, 143(1/2): 95-113.
- [53] 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). *Geoforum*, 2008, 39(2): 819-832.
- [54] Deadman P, Robinson D, Moran E, Brondizio E. Colonist household decisionmaking and land-use change in the Amazon Rainforest: an agent-based simulation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2004, 31(5): 693-709.
- [55] Valbuena D, Verburg P H, Bregt A K. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, 128(1/2): 27-36.
- [56] Ziervogel G, Bithell M, Washington R, Downing T. Agent-based social simulation: a method for assessing the impact of seasonal climate forecast applications among smallholder farmers. *Agricultural Systems*, 2005, 83(1): 1-26.
- [57] Becu N, Perez P, Walker A, Barreteau O, Le Page C. Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand: description of the CATCHSCAPE model. *Ecological Modelling*, 2003, 170(2/3): 319-331.
- [58] Gaube V, Kaiser C, Wildenberg M, Adensam H, Fleissner P, Kobler J, Lutz J, Schaumberger A, Schaumberger J, Smetschka B, Wolf A, Richter A, Haberl H. Combining agent-based and stock-flow modelling approaches in a participative analysis of the integrated land system in Reichraming, Austria. *Landscape Ecology*, 2009, 24(9): 1149-1165.
- [59] Castella J C, Boissau S, Trung T N, Quang D D. Agrarian transition and lowland-upland interactions in mountain areas in northern Vietnam: application of a multi-agent simulation model. *Agricultural Systems*, 2005, 86(3): 312-332.
- [60] Le Q B, Park S J, Vlek P L G. Land Use Dynamic Simulator (LUDAS): a multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human-landscape system; 2. scenario-based application for impact assessment of land-use policies. *Ecological Informatics*, 2010, 5(3): 203-221.
- [61] Lobianco A, Esposti R. The Regional Multi-Agent Simulator (RegMAS): an open-source spatially explicit model to assess the impact of agricultural policies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, 72(1): 14-26.
- [62] Huang H Q, Pan L H, Wang Q, Zhen L. An artificial society model of land use change in terms of households' behaviors: model development and application. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(3): 353-367.
- [63] Bakker M M, van Doorn A M. Farmer-specific relationships between land use change and landscape factors: introducing agents in empirical land use modelling. *Land Use Policy*, 2009, 26(3): 809-817.
- [64] Becu N, Neef A, Schreinemachers P, Sangkapitux C. Participatory computer simulation to support collective decision-making: potential and limits of stakeholder involvement. *Land Use Policy*, 2008, 25(4): 498-509.

- [65] Acosta-Michlik L, Espaldon V. Assessing vulnerability of selected farming communities in the philippines based on a behavioural model of agent's adaptation to global environmental change. *Global Environmental Change*, 2008, 18(4): 554-563.
- [66] Huigen M G A, Overmars K P, de Groot W T. Multiactor modeling of settling decisions and behavior in the San Mariano Watershed, the Philippines: a first application with the MameLuke Framework. *Ecology and Society*, 2006, 11(2): 33-33.
- [67] Jepsen M R, Leisz S, Rasmussen K, Jakobsen J, Møller-Jensen L, Christiansen L. Agent-based modelling of shifting cultivation field patterns, Vietnam. *International Journal of Geographical Information Science*, 2006, 20(9): 1067-1085.
- [68] Houet T, Verburg P H, Loveland T R. Monitoring and modelling landscape dynamics. *Landscape Ecology*, 2010, 25(2): 163-167.
- [69] Parker D C, Entwisle B, Rindfuss R R, Vanwey L K, Manson S M, Moran E, An L, Deadman P, Evans T P, Linderman M, Mussavi Rizi S M, Malanson G. Case studies, cross-site comparisons, and the challenge of generalization: comparing agent-based models of land-use change in frontier regions. *Journal of Land Use Science*, 2008, 3(1): 41-72.
- [70] Rindfuss R R, Entwisle B, Walsh S J, An L, Badenoch N, Brown D G, Deadman P, Evans T P, Fox J, Geoghegan J, Gutmann M, Kelly M, Linderman M, Liu J G, Malanson G P, Mena C F, Messina J P, Moran E F, Parker D C, Parton W, Prasartkul P, Robinson D T, Sawangdee Y, Vanwey L K, Verburg P H. Land use change: complexity and comparisons. *Journal of Land Use Science*, 2008, 3(1): 1-10.
- [71] Grimm V, Berger U, de Angelis D L, Polhill J G, Giske J, Railsback S F. The ODD protocol: a review and first update. *Ecological Modelling*, 2010, 221(23): 2760-2768.
- [72] Parker D, Brown D, Polhill J G, Manson S M, Deadman P. Illustrating a new 'conceptual design pattern' for agent-based models and land use via five case studies: the MR POTATOHEAD framework // Paredes A L, Iglesias C H, eds. *Agent-based Modelling in Natural Resource Management*. Valladolid: Universidad de Valladolid, 2008: 29-62.
- [73] Berger T, Schreinemachers P. Creating agents and landscapes for multiagent systems from random samples. *Ecology and Society*, 2006, 11(2): 19-19.

参考文献:

- [9] 余强毅, 吴文斌, 唐华俊, 杨鹏, 陈仲新, 陈佑启. 复杂系统理论与 Agent 模型在土地变化科学中的研究进展. *地理学报*, 2011, 66(11): 1518-1530.
- [19] 陈海, 杨维鸽, 梁小英, 王涛. 基于 Multi-Agent System 的多尺度土地利用变化模型的构建与模拟. *地理研究*, 2010, 29(8): 1519-1527.
- [34] 王媛, 方修琦, 徐钹, 戴玉娟. 气候变暖与东北地区水稻种植适应行为. *资源科学*, 2005, 27(1): 121-127.
- [62] 黄河清, 潘理虎, 王强, 郑林. 基于农户行为的土地利用人工社会模型的构造与应用. *自然资源学报*, 2010, 25(3): 353-367.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
- Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
- Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
- Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
- Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
- The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
- Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
- Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
- Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
- Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
- The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
- Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
- The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
- Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
- The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
- The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenze, XU Lihua (1852)
- Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
- Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
- Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

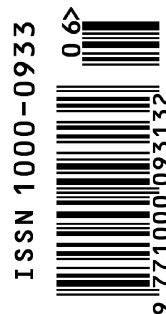
第 33 卷 第 6 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元