

# 农户土地利用决策行为的多智能体模拟方法

常笑<sup>1</sup>, 刘黎明<sup>1\*</sup>, 刘朝旭<sup>1</sup>, 陈伟强<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 河南农业大学资源与环境学院, 郑州 450002)

**摘要:** 为了找出土地利用调控的关键结点, 为相关政策的制定提供科学依据, 该文利用 MAS (multi-agent system) 模拟微观主体的决策行为, 自下而上地探究土地利用变化的内在机制。该文以河南省唐河县小庄村为例, 构建了农户土地利用决策概念框架, 并对其进行了定量表达, 通过模拟农户的决策行为, 探讨了多智能体方法在农业土地利用变化研究中的应用可能。结果表明: 1) 各农户的内部决策值存在个体差异, 但花生的内部决策值普遍较高。2) 市场因子在一定程度上加强了农户种植花生的意愿, 对于农户间相互作用, 各农户差异较大, 无统一规律可循; 综合看来, 在外部因子的强化作用下, 各农户的最终决策更加偏向于种植花生。3) 2012 年小庄村棉花与花生的种植面积比例的模拟值为 0.26:0.74, 与实际值 0.25:0.75 基本一致, 反映出 2011 年棉花价格的大幅下降给当地棉花种植带来了较大冲击, 2012 年小庄村秋季经济作物以花生为主。研究结果可为农户行为的调控提供理论依据, 从根源处促进农用地的合理利用。

**关键词:** 土地利用, 多智能体系统, 行为研究, 农户, 决策, 模拟

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.14.029

中图分类号: F301.0

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-14-0227-11

常笑, 刘黎明, 刘朝旭, 等. 农户土地利用决策行为的多智能体模拟方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 227-237.

Chang Xiao, Liu Liming, Liu Zhaoxu, et al. Method of multi-agent system for simulating land-use decision-making behavior of farmer households[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 227-237. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

土地利用变化一直是国内外众多学科领域的研究热点。多智能体系统(multi-agent system, MAS)作为复杂系统分析与模拟的重要手段, 为土地利用变化相关研究提供了崭新的思路。相对于传统土地利用变化的研究, MAS 方法更加注重对人类行为决策的模拟, “自下而上”地探究具有能动性的微观主体对宏观土地利用格局及功能的作用影响, 因此能够比较贴切地解释和预测复杂的土地利用问题。

国内外学者运用多智能体方法对不同情景下的土地利用变化模拟已有一些相关研究。在农业土地利用方面多以农户为切入点进行研究<sup>[1-4]</sup>, 如 Federico E. Bert 等利用 ABM (agent-based model) 模型研究了阿根廷草原区土地经营的规模化经营趋势等农业生产格局的变化<sup>[1]</sup>; Schreinemachers P

等研究了农业技术、市场动态、环境变化, 以及政策干预对农户土地利用行为的影响<sup>[2]</sup>; Carlos F Mena 等通过建立 ABM 模型模拟了 Ecuadorian Amazon 地区的土地利用变化, 并将农户内部人口结构的变化和人口迁移等因素考虑在内<sup>[3]</sup>。运用多智能体方法模拟土地利用变化带来的生态效应是近期的研究热点<sup>[5-8]</sup>, 如 Happe 等模拟了农户在追求利益最大化过程中相对应的土地利用方式的动态变化及其生态影响<sup>[5]</sup>; Gaube 等模拟了 4 种不同情境下奥地利 Reichraming 地区的土地利用变化以及由此产生的生态效应和社会经济效应<sup>[6]</sup>。国内的黎夏<sup>[9-12]</sup>、张鸿辉<sup>[13-16]</sup>等运用多智能体方法对城市土地扩张、城市土地利用优化配置开展了比较系统的研究; 张云鹏等研究了快、中、慢 3 种经济社会发展条件下常州市新北区土地利用变化情况<sup>[17]</sup>; 此外, 陈海等通过对农户土地利用决策的模拟, 探讨了 MAS 在微观层面土地利用变化过程中的应用<sup>[18-19]</sup>。总体来说, 多智能体相关的土地利用变化研究多体现在宏观地类转换层面, 对于地类内部的变化涉及较少, 如作物种植种类、空间格局、种植方式等农用地内部结构的发生和演变。另外, 国内的多智能体建模研究最早应用于城市土地, 并借鉴 CA (cellular automata) 模型的思想, 研究方法侧重于对

收稿日期: 2012-12-05 修订日期: 2013-05-13

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (41130526)

作者简介: 常笑 (1990—), 女, 河南南阳人, 主要从事土地利用系统分析、城郊农业等方面研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。Email: changx@cau.edu.cn

\*通信作者: 刘黎明 (1966—), 男, 教授, 主要从事乡村景观规划、土地资源可持续利用等领域的研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。Email: liulm@cau.edu.cn

区域空间进行网格化或栅格化处理,通过分析网格单元的属性特征得到转换概率;以“人”为出发点,通过农户的决策行为探索农用地发展变化规律的研究相对较少,尚处于起步阶段。总体来说,应用多智能体方法开展土地利用变化模拟是当前中的一个研究热点,而且在模拟微观主体与土地利用决策机制方面有待进一步的探索。

在中国现有的农村土地制度下,农户仍是土地利用的基本经营单元,农户土地利用决策行为是导致农业土地利用结构变化的重要因素。因此,本文尝试运用多智能体方法,通过构建基于 MAS 的农户土地利用决策模型,自下而上地探究农户微观决策行为作用于区域层面农地利用变化的内在机理,以期合理引导农户土地利用行为,促进区域土地资源合理利用提供参考。

## 1 基于 MAS 的农户土地利用决策模型构建

### 1.1 基于 MAS 的农户土地利用决策概念框架

MAS (multi-agent system) 起源于人工智能 (artificial intelligence) 领域,现在主要发展出以下 3 种定义: 1) 相互作用的硬件智能体 (hardware agents); 2) 交互式的软件智能体系统 (software agents); 3) 多智能体模型<sup>[20]</sup>, 这里智能体 (agent) 的概念已从以人工智能为代表的计算机领域向社会、经济、环境等其他领域扩展,用于表达系统中具有主观能动性并可以同环境交互的独立的微观主体,通过描述 agent 的行为规则及其与所处环境的相互影响,能够自下而上地探究微观主体对系统宏观层面的作用结果<sup>[21-22]</sup>。本文中的 multi-agent system 取其第 3 种定义,用多智能体模型模拟农业土地利用系统格局的形成及其演变机制。在土地科学中,也有部分研究将 MAS 的第 3 种含义进一步延伸,定义为智能体模型 ABM (agent-based model) 与其他模型耦合后的综合模型<sup>[9-10,23-24]</sup>。如代表环境的元胞/空间模型 (cellular/spacial model) 与关注于人类决策行为的智能体模型 ABM 的耦合<sup>[10,25]</sup>。

ABM 可翻译成智能体模型,智能体模型大部分都是由多个具有异质性的智能体在环境中相互作用所组成的系统,即可称为多智能体系统 (MAS)<sup>[25-27]</sup>,对应上述 MAS 的第 3 种定义。智能体模型将人类行为整合进研究框架,对复杂的真实世界进行抽象化表达,从定性或定量的角度解释实际问题<sup>[28-29]</sup>。

本文在模型框架的设计中借鉴了 Diego Valbuena<sup>[30]</sup>的模型框架,并根据研究背景的差异对其进行了补充和调整。在描述影响农户决策的内部因子时,本框架考虑了农户不同的农业生产目标所导致的土地利用行为差异,以及家庭资源禀赋对农

户能力的决定性作用。另外, Diego Valbuena 的框架中外部因子仅包括政策、需求等社会经济因子,不包含自然条件,本框架进一步考虑了农户间相互作用和自然条件等因素,并展现了市场、政策、自然条件、农户间相互作用这些外部因子间的从属关系,指出市场因子及农户间相互作用最易受其他因素影响发生改变,进而影响农户决策,是建模时需重点考虑的因素。图 1 所示为基于 MAS 的农户土地利用决策概念框架。

农户在进行土地利用决策时,对其产生影响的内部因子主要包括能力和意愿。能力由农户的家庭资源禀赋决定,主要指农户本身的一些属性,如农业劳动力、家庭收入、年龄、家庭成员结构、所拥有的土地面积等,能力决定了农户在进行决策时所拥有的选择范围。意愿由农户的土地利用目标决定,代表了农户的价值观和决策偏好,当前农户的土地利用目标主要分为 3 种类型: 追求经济效益最大化,用于家庭消费以及两者兼有的混合型目标。农户的土地利用目标与多种因素有关,如农户所处的不同经济发展阶段、土地规模、家庭收入水平及结构<sup>[31]</sup>等。本文主要研究分散型农户对花生及棉花两种秋季经济作物的种植选择,经调查发现,虽然农户在进行全面的土地利用决策时受兼业行为、收入水平及结构、年龄、教育水平等多种因素影响,但在两种经济作物类型之间进行内部选择时,绝大部分农户都会以经济效益最大化为目标,以农业劳动力为最主要甚至是决定性的选择依据。这也是本文在建模过程中重点考虑的因素。

能力和意愿是相互联系的,能力是意愿实现的前提,如农户为了增加农业收入来源,有扩大种植面积的意愿,却缺少转入土地的经济能力,则种植面积的扩大就无法实现;能力也可以影响意愿,如农户可通过提高种植技术增加收入,从而加强其种植该作物的意愿。同时,农户也可通过意愿改变自身能力,如为了扩大种植面积,通过借贷等方式筹集资金。在能力和意愿的共同作用下,农户做出决策并付诸行动,而行动产生的结果会进一步影响农户未来的能力和意愿。内部因素直接影响农户的决策行为,在本框架中是影响农户决策的根本性因素,在下文的定量表达中将得到进一步体现。

影响农户决策的外部因子主要有市场、政策、自然环境、农户间作用交流等,且外部因子通过影响农户的能力或意愿间接作用于农户的决策,例如某种作物市场价格的上升会增加农户扩大该种作物种植面积的意愿,气候、土壤等自然条件会将农户的种植选择限定在一定范围内,在一定程度上影响农户的能力,种粮补贴会扩大

农民种地的积极性增加其农业生产的意愿, 通过交流学习农户的能力会得到提高, 而农户间的模

仿、竞争等行为, 会通过改变农户的意愿而影响其土地利用决策行为。

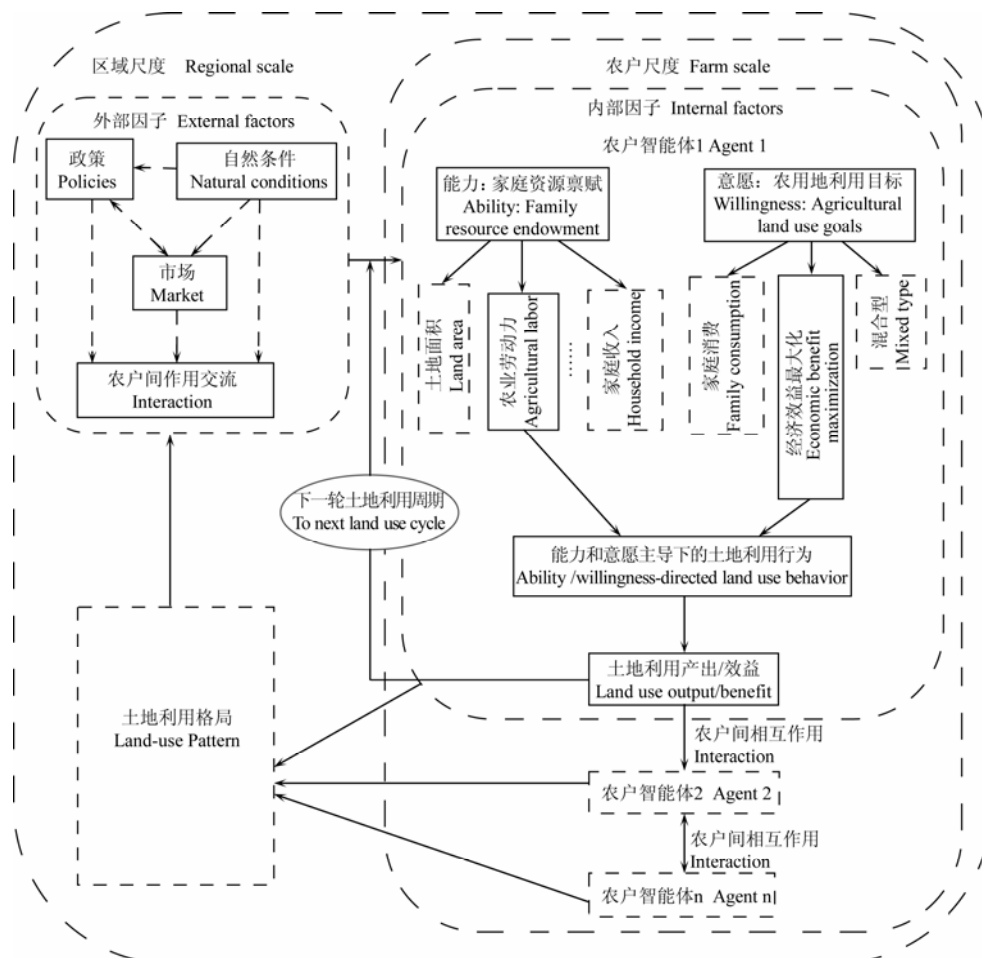


图 1 基于 MAS 的农户土地利用决策概念框架

Fig.1 Conceptual framework of land-use decisions for farmer households base-on MAS

外部因子间存在着部分从属关系, 如框架图所示: 市场因子与政策因子相互影响, 如国家相关政策对 market 价格的调控, 当地政府的政策支持会对市场和价格起到积极作用, 反过来, 一些政策的制定也会考虑市场状况的变动; 自然条件通过影响作物产量和质量影响其市场, 因此, 市场因子部分从属于自然条件因子; 政府对于自然灾害导致的大幅减产会给与一定补贴和保险费用, 因此政策部分从属于自然条件; 而市场、政策和自然条件的变动都会影响到农户的想法与相互作用, 因此农户间作用交流又是从属于以上三者的。由此可以看出, 市场因子和农户间相互作用最易受其他因子的影响发生变化, 进而影响到农户决策, 因此本文在建模过程中对其重点考虑, 但各个外部因子及其对农户的影响作用仍是相互独立的, 针对不同区域背景进行研究时要根据实际情况区别对待。

该框架呈现出了各个因素间相互影响的循环机制: 内部因子直接决定农户的决策行为, 是整个

决策框架的根本性因素, 外部因子通过改变内部因子间接作用于农户决策, 这种设计考虑到实际情况中农户的决策行为: 农户决策首先是其自身思想的体现, 其他因素都是通过影响农户自身思想作用于其最终决策的。区域层面的整体土地利用格局是微观层面多个农户决策结果的涌现, 也进一步影响着农户决策的外部因子。农户在进行决策时, 会依据这一周期的土地利用产出/效益和自身能力, 再结合外部因子对下一周期的土地利用行为进行调整。图 2 为本模型中的农户土地利用决策树。

本模型满足如下条件: 1) 各农户智能体都以追求经济效益最大化为决策前提; 2) 因调查范围较小, 各农户智能体所拥有的土地自然条件基本一致; 3) 每一个农户智能体基本掌握了其他各农户智能体上一年的利润信息以及近两年的市场价格; 4) 本文中农业劳动人数包括常年务农的纯农业劳动力, 以及农忙时务农、农闲时外出打工或从事其他副业的兼业劳动力。

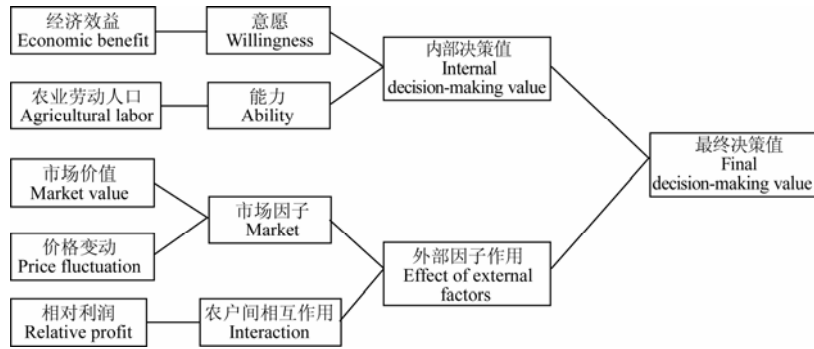


图2 农户土地利用决策树

Fig.2 Land-use decision-making tree of farmer household

## 1.2 内部因子作用下的农户决策

根据决策概念框架,影响农户决策的内部因子主要为农户的能力  $A$  和意愿  $W$ 。因此,内部因子作用下的农户决策可表示为  $A$  与  $W$  的函数。

$$ID_{ikt} = f\{A_{ikt}, W_{ikt}\} \quad (1)$$

式中,  $ID_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  选择第  $k$  种土地利用方式的内部决策值;  $A_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  选择第  $k$  种土地利用方式的能力;  $W_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  选择第  $k$  种土地利用方式的意愿。结合农户时间  $t$  时的能力和意愿,可定量表达农户在内部因子作用下的土地利用决策值。

本文中,农户能力的影响因素主要为农业劳动人数 ( $Labor$ ), 农户意愿的影响因素主要为某种土地利用方式的经济效益 ( $Profit$ )。因此,构建内部因子作用下的农户决策模型如下

$$ID_{ikt} = W_{l/k} \times Labor_{ikt} + W_{p/k} \times Profit_{ikt} \quad (2)$$

式中,  $Labor_{ikt}$  表示时间  $t$  时农户  $i$  的农业劳动人数对第  $k$  种土地利用方式的影响度;  $W_{l/k}$  表示第  $k$  种土地利用方式的农业劳动人数影响权重;  $Profit_{ikt}$  表示时间  $t$  时第  $k$  种土地利用方式的经济效益对农户  $i$  的决策影响度;  $W_{p/k}$  为第  $k$  种土地利用方式的经济效益影响权重,在这里经济效益可理解为作物的单位面积平均利润。其中

$$Labor_{ikt} = \frac{l_{it} - l_{t/min}}{l_{t/max} - l_{t/min}} \quad (3)$$

式中,  $l_{it}$  表示时间  $t$  农户  $i$  的农业劳动人数,  $l_{t/min}$  表示时间  $t$  被调查农户农业劳动人数的最小值,  $l_{t/max}$  表示时间  $t$  被调查农户农业劳动人数的最大值。

$$profit_{ikt} = \frac{p_{ikt-1}}{\sum_{k=1}^n p_{ikt-1} (n=1,2)} \quad (4)$$

式中,  $p_{ikt-1}$  为上一时期  $t-1$  时农户  $i$  第  $k$  种土地利用方式的每公顷平均利润;  $profit_{ikt}$  为上一时期农户  $i$  第  $k$  种土地利用方式的每公顷平均利润占 2 种作物

每公顷平均利润之和的比例,定量表示了对于农户  $i$  第  $k$  种土地利用方式的相对利润。 $t-1$  时农户的决策会对其  $t$  时的决策产生影响,体现了农户决策中的“路径依赖”现象。

对于影响权重  $W_{l/k}$ , 有如下公式表示

$$W_{l/k} = \frac{\lambda_{l/k}}{\lambda_{l/k} + \lambda_{p/k}} \quad (5)$$

$$W_{p/k} = \frac{\lambda_{p/k}}{\lambda_{l/k} + \lambda_{p/k}} \quad (6)$$

$$\lambda_{l/k} = \frac{n_{l/k}}{n_{sum}} \quad (7)$$

$$\lambda_{p/k} = \frac{n_{p/k}}{n_{sum}} \quad (8)$$

式中,  $n_{sum}$  为本次调查的农户总数,在问卷调查中,对于“哪些因素会影响到您种植棉花/花生的决定”一项,有  $n_{l/k}$  个农户选择了农业劳动人数  $L$ ,有  $n_{p/k}$  个农户选择了种植利润  $P$  (可多选),  $\lambda_{l/k}$  和  $\lambda_{p/k}$  分别表示对于土地利用方式  $k$  选择农业劳动人数的户数以及选择种植利润的户数占被调查总户数的比例。将  $\lambda_{l/k}$  和  $\lambda_{p/k}$  进行归一化处理即得到第  $k$  种土地利用方式的农业劳动人数影响权重  $W_{l/k}$  和经济效益影响权重  $W_{p/k}$ 。

## 1.3 外部因子对农户决策的影响

根据农户决策概念框架,市场、政策、自然条件、农户间相互作用等外部因子会通过影响农户的能力或意愿间接作用于农户决策,外部因子对农户决策的作用模型可构建为

$$ED_{ikt} = \{M_{ikt}, P_{ikt}, N_{ikt}, Inter_{ikt}\} \quad (9)$$

式中,  $ED_{ikt}$  表示时间  $t$  时对于第  $k$  种土地利用方式外部因素对农户  $i$  的决策影响系数;  $M_{ikt}$  为  $t$  时对于第  $k$  种土地利用方式市场对农户  $i$  的决策影响,  $P_{ikt}$  表示  $t$  时对于第  $k$  种土地利用方式政策对农户  $i$  的决策影响,  $N_{ikt}$  表示时间  $t$  时对于第  $k$  种土地利用方式自然条件对农户  $i$  的决策影响,

$Inter_{ikt}$  为时间  $t$  对于第  $k$  种土地利用方式农户  $i$  与其他农户智能体间的相互作用。本文调查范围较小, 各农户所拥有田块的自然条件空间异质性不大; 但整体上, 研究区域内的自然条件对不同土地利用方式的适宜性不同, 对农户的决策行为会产生一定程度的影响, 由于该项影响的规律性尚不明显, 且受数据完整性限制, 在此只对其进行定性研究, 暂不做定量表达; 政策对农户决策的影响主要是相关的农业补贴, 因补贴金额较小, 对农户的土地利用决策亦没有显著影响。因此, 本模型的构建中影响农户决策的外部因子主要有市场因子和农户间相互作用。

### 1.3.1 市场因子对农户决策的影响

本模型中, 影响农户决策的市场因子主要是作物的市场价值和价格变动, 可通过以下公式定量表达

$$M_{kt} = market_{kt} \times \alpha_{price/kt} \quad (10)$$

其中,

$$market_{kt} = \frac{\sum_{i=1}^m p_{ikt-1}}{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m p_{ikt-1}} \quad (11)$$

$$\alpha_{price/kt} = \frac{price_{t-1/k}}{price_{t-2/k}} \quad (12)$$

式中,  $market_{kt}$  表示时间  $t$  在调查范围内第  $k$  种土地利用方式市场价值的大小, 用调查范围内该土地利用方式的整体利润占有所有土地利用方式利润和的比例求得<sup>[18-19]</sup>;  $price_{t-2/k}$  为  $t-2$  时第  $k$  种土地利用方式的当地市场平均价,  $price_{t-1/k}$  为  $t-1$  时第  $k$  种土地利用方式的当地市场平均价, 农户智能体一般会以前两年的价格变化来估计市场价格走向对当前的影响, 因此,  $\alpha_{price/kt}$  在不考虑贴现率的情况下, 定量表达了第  $k$  种土地利用方式的市场价格变动对农户土地利用决策的影响。

### 1.3.2 农户智能体间的相互作用

农户智能体之间存在交流、学习、竞争、模仿等各种相互作用, 本次调查中, 农户间的相互作用主要由各农户某种土地利用方式的单位面积相对利润大小决定, 体现了农户间的竞争行为, 借鉴文献<sup>[18-19]</sup>中的相关模型, 本文构建农户智能体相互作用模型如下

$$Inter_{ikt} = p_{ikt-1} / \max\{p_{ikt-1}\} (i=1,2,3...) \quad (13)$$

式中,  $\max\{p_{ikt-1}\}$  表示取上一时期  $t-1$  时被调查农户中第  $k$  种土地利用方式每公顷平均利润的最大值,  $Inter_{ikt}$  为时间  $t$  时农户  $i$  与其他农户智能体间的相互作用系数。则  $t-1$  时农户  $i$  第  $k$  种土地利用方式的利

润  $p_{ikt-1}$  相对于其他农户越大, 其相互作用系数越大, 对农户决策是选择该种土地利用方式的正面影响越大。

## 1.4 农户智能体最终决策模型

农户智能体的最终决策受内部因素和外部环境共同影响, 构建最终决策模型如下

$$D_{ikt} = \{ID_{ikt}, ED_{ikt}\} \quad (14)$$

外部因子通过影响农户的能力和意愿等内部因子间接作用于农户的最终决策, 因此, 以内部因子作用下的农户决策值  $ID_{ikt}$  为基准值, 与外部因子的影响系数 (市场因子影响系数  $M_{ikt}$  及农户间相互作用系数  $Inter_{ikt}$ ) 相乘, 即得到农户智能体的最终决策值。式 (14) 可转化为

$$D_{ikt} = ID_{ikt} \times ED_{ikt} = ID_{ikt} \times (M_{ikt} \times Inter_{ikt}) \quad (15)$$

式中,  $D_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  第  $k$  种土地利用方式的最终决策值, 可理解为时间  $t$  农户  $i$  进行决策时选择第  $k$  种土地利用方式的概率。 $D_{ikt}$  越大, 则农户智能体选择该种土地利用方式的可能性越大。

## 2 案例分析

案例调查区小庄村位于河南省南阳市唐河县苍台镇西北部, 地处豫鄂 2 省交界处, 属于湾行政村下的自然村。唐河和蓼阳河流经该区域, 气候适宜, 地势平坦, 土壤肥沃, 适合多种农作物生长, 农业资源丰富, 品质优良, 是唐河南部重要的棉花、小麦、花生生产基地。小庄村农户种植的秋季作物包括花生、棉花、玉米和少量用于自家消费的芝麻及豆类, 本实例以该地区最主要的 2 种秋季经济作物棉花、花生为例, 对农户的土地利用决策行为展开研究。

### 2.1 农户智能体内部决策

2012 年 3 月笔者对小庄村多家农户进行了问卷及面谈等形式的调研, 并对其中具有典型性且数据较完整的 54 家农户进行了详细的问卷调查, 得到有效问卷 50 份, 根据问卷中 2011 年农户销售所得总收入, 各类作物种植面积、产量, 和种子、化肥、农药等投入成本数据, 计算得到 2011 年各土地利用方式单位面积平均利润。各农户农业劳动人数及各作物类型单位面积平均利润如下表所示。

从表 1 中可知, 各农户农业劳动人数差别较大 (此处的农业劳动人数包括农忙时务农, 农闲时外出打工的人员), 且花生每公顷利润普遍高于棉花, 这与 2011 年下半年全国棉花价格大幅下降有关。

表 1 农户农业劳动人数及种植利润表  
Table 1 Agriculture labor force and planting profit of households

农户 Household	农业劳动 人数 Number of agricultural labor/人	棉花种植利润 Profit of cotton/ (元·hm <sup>-2</sup> )	花生种植利润 Profit of peanut (元·hm <sup>-2</sup> )	农户 Household	农业劳动 人数 Number of agricultural labor/人	棉花种植利润 Profit of cotton (元·hm <sup>-2</sup> )	花生种植利润 Profit of peanut/(元·hm <sup>-2</sup> )
1	4	16950	25200	27	5	19200	24750
2	6	18795	23070	28	5	17700	25500
3	3	17520	25800	29	4	18000	25200
4	5	19980	25500	30	4	19500	24750
5	5	15855	24795	31	5	16500	25800
6	2	16245	23100	32	6	18000	26250
7	5	15750	27000	33	5	16950	24750
8	3	16800	24750	34	4	16500	24750
9	4	15810	24900	35	5	16500	25200
10	5	18150	23355	36	4	15000	24900
11	4	18360	24750	37	3	16950	23400
12	4	19800	23010	38	3	18000	24000
13	6	17670	26085	39	5	17325	24975
14	7	15750	24675	40	5	17250	24750
15	3	16500	25095	41	3	17400	24000
16	2	19125	23175	42	4	18000	24750
17	5	17700	25860	43	7	19500	26250
18	4	15000	24900	44	5	16500	25500
19	5	15900	26700	45	6	18000	25200
20	6	17250	24750	46	5	18765	25155
21	5	18000	24750	47	5	17400	23250
22	3	16500	22500	48	6	18900	24750
23	2	18000	22500	49	5	17700	24600
24	6	18750	25500	50	3	15900	23700
25	5	17250	24750	平均值 Average	4.5	17445	24720
26	4	17400	23400				

统计问卷调查结果得到： $n_{l/cotton}=41$ ， $n_{p/cotton}=50$ ， $n_{l/peanut}=32$ ， $n_{p/peanut}=49$ ，根据式（5）～式（8），得到影响农户内部决策的各因子系数如表（2）所示。

表 2 农户决策内部因子影响权重表

Table 2 Influence weight of internal decision-making factors of households

作物 Crop species	农业劳动人数影响权重 $W_{l/k}$ Effect weight of number of agricultural labor $W_{l/k}$	经济效益影响权重 $W_{p/k}$ Effect weight of economic benefit $W_{p/k}$
棉花 Cotton	$W_{l/cotton}=0.451$	$W_{p/cotton}=0.549$
花生 Peanut	$W_{l/peanut}=0.395$	$W_{p/peanut}=0.605$

从表 2 的结果可以看出：1）无论哪种土地利用方式，经济效益影响权重都大于农业劳动人数影响权重，这说明在农户决策中经济效益较农业劳动人数更为重要，反映出在市场经济条件下，对于具有一定种植规模的经济作物，农户追求效益最大化的决策目

标；2）棉花的农业劳动人数影响权重大于花生。结合调查结果可知，对于不同的土地利用方式，基本所有被调查农户都会考虑其经济效益（ $n_{p/cotton}=50$ ， $n_{p/peanut}=49$ ），而农业劳动人数对不同土地利用方式下农户决策的影响差异较大（ $n_{l/cotton}=41$ ， $n_{l/peanut}=32$ ），这是由于棉花在种植管理上费时费力，需要较多劳动力，而花生相对省力，因此农户在选择棉花时会更多考虑农业劳动人数的因素。

由式（1）～式（4）得到各农户智能体的内部决策值  $ID_{ikt}$ ，如表 3 所示。

对比表 3 及表 1 的数据，发现对于单个农户来说，单位面积种植利润越大，最终的内部决策值越大，各农户的内部决策值具有差异性；整体上来看，今年小庄村农户种植花生的内部决策值普遍高于棉花，说明在仅考虑农户自身能力和意愿的情况下，花生相对于棉花更具种植优势。

表 3 农户间相互作用系数、农户最终决策值及验证表

Table 3 Interaction coefficient of households, final decision-making value of households and verification table

农户 Household	内部决策值 $ID_{ikt}$ Internal decision-making value $ID_{ikt}$		农户间相互作用系数 $Inter_{ikt}$ Interaction coefficient of households $Inter_{ikt}$		最终决策值 $D_{ikt}$ Final decision-making value $D_{ikt}$		归一化后的最终决策 值 $D'_{ikt}$ Normalized final decision-making value $D'_{ikt}$		实际种植面积 Actual cultivated area/hm <sup>2</sup>		归一化后的实际 种植面积 Normalized actual cultivated area/hm <sup>2</sup>	
	棉花 Cotton	花生 Peanut	棉花 Cotton	花生 Peanut	棉花 Cotton	花生 Peanut	棉花 Cotton	花生 Peanut	棉花 Cotton	花生 Peanut	棉花 Cotton	花生 Peanut
1	0.40	0.52	0.85	0.93	0.10	0.31	0.24	0.76	0.067	0.167	0.29	0.71
2	0.61	0.65	0.94	0.85	0.16	0.36	0.31	0.69	0.067	0.233	0.22	0.78
3	0.31	0.44	0.88	0.96	0.08	0.27	0.23	0.77	0.053	0.200	0.21	0.79
4	0.51	0.58	1.00	0.94	0.15	0.35	0.30	0.70	0.087	0.200	0.30	0.70
5	0.48	0.61	0.79	0.92	0.11	0.36	0.24	0.76	0.053	0.213	0.20	0.80
6	0.23	0.36	0.81	0.86	0.05	0.20	0.21	0.79	0.000	0.100	0.00	1.00
7	0.47	0.62	0.79	1.00	0.11	0.40	0.21	0.79	0.053	0.213	0.20	0.80
8	0.31	0.44	0.84	0.92	0.08	0.26	0.23	0.77	0.033	0.107	0.24	0.76
9	0.39	0.53	0.79	0.92	0.09	0.31	0.22	0.78	0.033	0.167	0.17	0.84
10	0.51	0.58	0.91	0.87	0.13	0.32	0.29	0.71	0.087	0.193	0.31	0.69
11	0.41	0.51	0.92	0.92	0.11	0.30	0.27	0.73	0.060	0.147	0.29	0.71
12	0.43	0.48	0.99	0.85	0.12	0.26	0.32	0.68	0.100	0.167	0.37	0.63
13	0.58	0.68	0.88	0.97	0.15	0.42	0.26	0.74	0.087	0.233	0.27	0.73
14	0.66	0.76	0.79	0.91	0.15	0.45	0.25	0.75	0.093	0.273	0.25	0.75
15	0.31	0.44	0.83	0.93	0.07	0.27	0.22	0.78	0.027	0.107	0.20	0.80
16	0.25	0.33	0.96	0.86	0.07	0.18	0.27	0.73	0.033	0.100	0.25	0.75
17	0.49	0.60	0.89	0.96	0.13	0.37	0.25	0.75	0.067	0.200	0.25	0.75
18	0.39	0.54	0.75	0.92	0.08	0.32	0.21	0.79	0.000	0.200	0.00	1.00
19	0.48	0.62	0.80	0.99	0.11	0.39	0.22	0.78	0.067	0.193	0.26	0.74
20	0.59	0.67	0.86	0.92	0.15	0.40	0.27	0.73	0.087	0.227	0.28	0.72
21	0.50	0.59	0.90	0.92	0.13	0.35	0.27	0.73	0.067	0.153	0.30	0.70
22	0.32	0.43	0.83	0.83	0.08	0.23	0.25	0.75	0.033	0.100	0.25	0.75
23	0.24	0.34	0.90	0.83	0.06	0.18	0.26	0.74	0.033	0.100	0.25	0.75
24	0.59	0.66	0.94	0.94	0.16	0.40	0.28	0.72	0.100	0.267	0.27	0.73
25	0.50	0.59	0.86	0.92	0.12	0.35	0.26	0.74	0.067	0.200	0.25	0.75
26	0.41	0.50	0.87	0.87	0.10	0.28	0.27	0.73	0.040	0.167	0.19	0.81
27	0.51	0.58	0.96	0.92	0.14	0.34	0.29	0.71	0.133	0.333	0.29	0.71
28	0.50	0.59	0.89	0.94	0.13	0.36	0.26	0.74	0.100	0.267	0.27	0.73
29	0.41	0.51	0.90	0.93	0.11	0.31	0.26	0.74	0.100	0.240	0.29	0.71
30	0.42	0.50	0.98	0.92	0.12	0.29	0.29	0.71	0.133	0.333	0.29	0.71
31	0.48	0.61	0.83	0.96	0.11	0.37	0.24	0.76	0.080	0.253	0.24	0.76
32	0.58	0.67	0.90	0.97	0.15	0.42	0.26	0.74	0.133	0.367	0.27	0.73
33	0.49	0.60	0.85	0.92	0.12	0.35	0.25	0.75	0.067	0.233	0.22	0.78
34	0.40	0.52	0.83	0.92	0.09	0.31	0.24	0.76	0.067	0.267	0.20	0.80
35	0.49	0.60	0.83	0.93	0.12	0.36	0.24	0.76	0.080	0.247	0.24	0.76
36	0.39	0.54	0.75	0.92	0.08	0.32	0.21	0.79	0.067	0.267	0.20	0.80
37	0.32	0.43	0.85	0.87	0.08	0.24	0.25	0.75	0.000	0.133	0.00	1.00
38	0.33	0.42	0.90	0.89	0.08	0.24	0.26	0.74	0.067	0.233	0.22	0.78
39	0.50	0.59	0.87	0.93	0.12	0.35	0.26	0.74	0.080	0.267	0.23	0.77
40	0.50	0.59	0.86	0.92	0.12	0.35	0.26	0.74	0.093	0.240	0.28	0.72
41	0.32	0.43	0.87	0.89	0.08	0.25	0.25	0.75	0.067	0.253	0.21	0.79
42	0.41	0.51	0.90	0.92	0.11	0.30	0.26	0.74	0.100	0.267	0.27	0.73
43	0.68	0.74	0.98	0.97	0.19	0.46	0.29	0.71	0.133	0.333	0.29	0.71
44	0.49	0.60	0.83	0.94	0.12	0.37	0.24	0.76	0.053	0.200	0.21	0.79
45	0.59	0.67	0.90	0.93	0.15	0.40	0.28	0.72	0.087	0.233	0.27	0.73
46	0.51	0.58	0.94	0.93	0.14	0.35	0.28	0.72	0.080	0.200	0.29	0.71
47	0.51	0.58	0.87	0.86	0.13	0.32	0.28	0.72	0.100	0.267	0.27	0.73
48	0.60	0.66	0.95	0.92	0.16	0.39	0.29	0.71	0.120	0.300	0.29	0.71
49	0.50	0.59	0.89	0.91	0.13	0.35	0.27	0.73	0.080	0.233	0.26	0.74
50	0.31	0.44	0.80	0.88	0.07	0.25	0.22	0.78	0.000	0.133	0.00	1.00
平均值 Average	0.45	0.55			0.11	0.33	0.26	0.74	0.070	0.215	0.25	0.75

## 2.2 外部因子对农户决策的作用

### 2.2.1 市场因子对农户决策的作用

根据式 (11), 可以得到小庄村棉花的市场价值  $market_{kt/k=cotton}$  和花生的市场价值  $market_{kt/k=peanut}$  分别为 0.59, 可见, 花生的市场价值较大, 即 2011 年调查范围内花生的整体利润大于棉花。根据小庄村 8 个组的统计上报数据计算得到 2010 年该地区棉花(籽棉)的平均收购价  $price_{t-2/cotton}$  为 10.6 元/kg, 2011 年  $price_{t-1/cotton}$  为 7.4 元/kg, 价格下降幅度较大; 该地区 2010 年的花生(花生果)平均收购价  $price_{t-2/peanut}$  为 6.6 元/kg, 2011 年  $price_{t-1/peanut}$  为 7.2 元/kg, 价格呈小幅度上升趋势; 由式 (12) 得  $\alpha_{price/k=cotton}=0.70$ ,  $\alpha_{price/k=peanut}=1.09$ 。  $\alpha_{price/k=cotton}<1$ , 则  $M_{kt/k=cotton}<market_{kt/k=cotton}$ , 表明棉花价格的下降趋势会降低农户对其市场价值的估计, 而  $\alpha_{price/k=peanut}>1$ , 则  $M_{kt/k=peanut}>market_{kt/k=peanut}$ , 表明花生价格的上升会增加农户对其市场价值的估计。且  $|\alpha_{price/k=cotton}-1|>|\alpha_{price/k=peanut}-1|$ , 表明棉花的价格变动幅度大于花生, 则其对农户决策的影响程度也大于花生。

因此, 根据式 (10), 求得市场因素对农户智能体 2 种土地利用方式的决策影响系数分别为  $M_{kt/k=cotton}=0.287$ ,  $M_{kt/k=peanut}=0.643$ , 可见, 在市场价值与价格变动的共同影响下, 市场因素对种植花生的正面影响明显高于棉花, 在一定程度上加强了农户种植花生的意愿。

### 2.2.2 农户智能体间相互作用

由调查结果可知:  $\max\{P_{ikt-1/k=cotton}\}=19980$ ,  $\max\{P_{ikt-1/k=peanut}\}=27\ 000$ , 根据式 (13), 得到两种土地利用方式各农户智能体与其他农户间的相互作用系数  $Inter_{ikt}$ , 如表 3 所示。

表 3 的结果反映了农户  $i$  与其他农户间某种土地利用方式的相互作用系数与其利润值呈正相关, 其差异性间接反映了各农户种植利润的相对差异, 这源于农户间的比较及竞争心理, 某农户种植某种作物的利润值相对于其他农户越高, 其相互作用系数越大, 对农户进行土地利用决策时选择该种作物的正面影响越大。且相互作用系数对各农户的影响程度不同, 无统一规律可循。

### 2.3 农户智能体最终决策值

表 3 给出了各农户 2 种土地利用方式的最终决策值  $D_{ikt}$ , 以及对其进行归一化处理后的结果, 整体来看农户种植花生的最终决策值大于棉花, 由此可以推断今年小庄村的秋季经济作物将以花生为主。将所有农户的决策平均值转化为种植面积, 可初步预测小庄村今年棉花与花生种植面积之比约为 0.26:0.74, 从数量比例上简单模拟

了微观主体的土地决策行为对区域土地利用格局的影响。

## 2.4 模型的验证

2013 年 2 月对小庄村被调查的 50 家农户进行了回访, 统计出 2012 年棉花和花生的种植面积, 并进行归一化处理, 用于模型的验证(表 3)。

将 2012 年农户的实际种植面积与模拟结果进行对比, 可以得出如下结论: 1) 各农户棉花与花生种植面积之比的模拟值与实际值基本一致, 整体平均值也基本一致, 因此该模型能够较好地解释和预测农户的土地利用决策行为以及农用地利用格局的变化。2) 根据苍台镇政府统计数据, 2012 年小庄村两种作物的实际种植比例为 0.25:0.75, 比预测值 0.26:0.74 小 6.8%, 棉花的实际种植比例偏小而花生偏大。主要由以下原因造成: 小庄村河滩地较多, 土壤中沙土成分较多, 对花生的生长更为有利, 且棉花价格浮动大, 种植管理更为繁琐, 这些因素综合起来造成农户对种植棉花收入的降低非常敏感, 而且近几年小庄村的棉花种植面积整体呈下降态势, 这也会通过农户间的相互作用(模仿行为)降低农户种植棉花的积极性。

回访中了解到, 2012 年由于干旱, 包括棉花、花生在内的各类作物整体减产且品质下降, 农户种棉的收入情况也没有明显起色, 甚至出现个别农户每亩棉花的净利润不到 200 元的情况, 50 家农户有 4 家已放弃种棉, 小部分农户只是小面积种植了供自家消费的棉花, 也有部分农户因为种植习惯和种植传统等原因基本上保持了往年的种植比例, 整体上看, 目前小庄村的棉花种植呈现出比较消极的局面。

## 3 讨论

1) 本文所构建的农户土地利用决策概念框架概括出农户决策行为主要受到内部因子(能力和意愿)和外部因子(市场、政策、自然条件、农户间相互作用)的影响, 与以往研究中将影响因素简单归类或分层不同, 该框架以影响农户决策的根本性因素即内部因素为核心, 解释了各因素间相互作用的循环机制, 并分析了外部因子间的从属关系, 将“人类—自然”相耦合的复杂的土地利用系统在一定程度上进行了合理的概念化和抽象化, 定性解释了农户的土地利用决策行为, 可作为通用框架为相关研究提供参考。

在农户决策概念框架的基础上, 构建了农户决策规则定量模型。以内部因子影响下的决策值为基准值, 再综合考虑外部因素的作用对基准值进行修正, 得到农户的最终决策值。由此可见, 农户内部



决策规则的制定是构建定量模型的关键,这与概念框架中以内部因子为决策的根本性因子相契合。另外,如何实现农户的种植习惯、种植技术、自然条件、价格稳定性等因素的定量化表达,将是下一步研究需要加强的部分。

另外,本文主要针对花生和棉花这两种经济作物的种植选择展开研究,将农户作为理性经济人看待,制定的决策规则对种植利润敏感性较强,这对于农户种植经济作物的决策模拟具有相当的普适性。

2) 对土地利用方式的经济效益及市场因素二者关系的思考。本文中土地利用方式的经济效益是农户尺度上的指标,该指标的影响因素很多,受外部环境(尤其是市场)的影响,同时也受农户本身特征属性(如农户的种植习惯、种植技术)及一些不可控因素(如农户出售作物的时机)的影响。本实例中,由于研究尺度较小,农户的种植技术和习惯差异较小,一些不可控因素更是难以量化,对于种植经济作物的农户来说,利润是影响其意愿的首要因素,且该因素适宜于进行定量表达,因此从模拟定量化的可行性及模型的清晰度考虑,选择种植利润作为其经济效益指标,影响程度较弱、规律性不强或不可控的因素可作为隐性因素,其影响已经暗含在各农户最终的经济效益中,这也是造成各农户土地利用经济效益差异的内在原因之一。由此可见,模型既是对复杂真实世界的模拟,又要在一定程度上对其进行抽象和简化,把握好“模拟”与“简化”二者之间的平衡非常重要。

市场因素是区域尺度的指标,一部分由个体经济效益转化为整体经济效益得到,但在转化过程中已失去其作为农户尺度指标的基本属性,转化后代表该区域的平均水平;另一部分由该区域市场价的变动趋势得到,与单个农户的经济效益没有直接关联。因此虽然经济效益和市场因素二者相关度很大,还是存在本质上的区别。

3) 农业劳动人数在本模型中是体现农户能力的关键(甚至是决定性的)因子,这是由经济作物对劳动力的高度需求与务农机会成本高导致农业劳动力流失二者之间的矛盾造成的。在实际应用中,可根据研究对象的特征差异对农户能力因子的选择和表达进行相应调整。

4) 作为多智能体方法在农户土地利用决策应用中的初步探索,本研究主要模拟了短时期小范围区域内的农户决策行为及其与土地利用格局的关系,为今后探索更大空间及时间尺度的土地利用变化奠定了理论及实践基础。首先,本文构建的农户决策概念框架适用于各个尺度农户的决策行为,但空间尺度的推绎不是对原尺度的简单放大或缩小,

系统要素和结构有可能随尺度变化重新组合或显现,尺度较大的区域存在土地利用方式的空间异质性,在农户类型、自然条件、政策补贴,务农的机会成本等方面情况更为多样化,因此,在智能体的分类,关键因素的选取,模拟的精度,“模拟”与“简化”二者间的平衡等方面,微观尺度与宏观尺度需要考虑的情况迥然不同。其次,该模型中农户的决策规则表现为时间的函数,因此可以推绎到更长的时间尺度,但在实际情况中,某些影响因素会在某个时间点发生突变,如新政策的实施或自然灾害的发生,这些都是在时间尺度的推绎中需要考虑的情况。

## 4 结 论

本文构建了基于 MAS 的农户土地利用决策概念框架,解释了影响农户决策各因素间相互作用的循环机制,并对其进行了定量表达。然后以唐河县小庄村为例,模拟了研究区农户对棉花和花生的种植选择行为,以及由此造成的土地利用格局的改变。结果表明:1) 各农户的内部决策值存在差异,但花生的内部决策值普遍较高。2) 外部因子在一定程度上加强了农户种植花生的意愿,农户间相互作用对各农户的影响效果及程度不同,无统一规律可循;综合看来,在外部因子的强化作用下,各农户在进行最终决策时更加偏向于种植花生。3) 综合各农户结果,模拟得到 2012 年整个小庄村棉花与花生的种植面积比例为 0.26:0.74,与实际比例 0.25:0.75 基本一致,反映出 2011 年棉花价格的大幅下降给当地棉花种植带来了较大冲击,2012 年小庄村秋季经济作物以花生为主,棉花种植呈现出比较消极的局面。

### [参 考 文 献]

- [1] Federico E Bert, Guillermo P Podestá. An agent based model to simulate structural and land use changes in agricultural systems of the argentine pampas[J]. Ecological Modelling, 2011, 222(19): 3486—3499.
- [2] Schreinemachers P, Berger T. An agent-based simulation model of human-environment interactions in agricultural systems[J]. Environmental Modelling and Software, 2011, 26(7): 845—859.
- [3] Mena C F, Walsh S J, Frizzelle B G, et al. Land use change on household farms in the Ecuadorian Amazon: Design and implementation of an agent-based model[J]. Applied Geography, 2011, 31(1): 210—222.
- [4] Le Q B, Park S J, Vlek P L G, et al. Land-use dynamic simulator (LUDAS): A multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human-landscape system. I. Structure and theoretical specification[J]. Ecological Informatics, 2008, 3(2): 135—153.
- [5] 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.

- [6] Veronika Gaube, Christina Kaiser, Martin Wildenberg, et al. Combining agent-based and stock-flow modelling approaches in a participative analysis of the integrated land system in Reichraming, Austria[J]. *Landscape Ecology*, 2009, 24(9): 1149—1165.
- [7] 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.
- [8] Entwisle B, Malanson G, Rindfuss R R, et al. An agent-based model of household dynamics and land use change[J]. *Journal of Land Use Science*, 2008, 3(1): 73—93.
- [9] 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, 27(4): 542—548.  
Yang Qingsheng, Li Xia. Integration of multi-agent systems with cellular automata for simulating urban land expansion[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(4): 542—548. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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.  
Liu Xiaoping, Li Xia, Ai Bin, et al. Multi-agent systems for simulating and planning land use development[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1101—1112. (in Chinese with English abstract)
- [11] 刘小平, 黎夏, 叶嘉安, 等. 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)*, 2006, 36(11): 1027—1036.  
Liu Xiaoping, Li Xia, Ye Jiaan. Multi-agent systems for simulating spatial decision behaviors and land use dynamics [J]. *Science in China: Series D*, 2006, 36(11): 1027—1036. (in Chinese with English abstract)
- [12] 黎夏, 叶嘉安, 刘小平, 等. 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.
- [13] 张鸿辉, 曾永年, 谭荣, 等. 多智能体区域土地利用优化配置模型及其应用[J]. *地理学报*, 2011, 66(7): 972—984.  
Zhang Honghui, Zeng Yongnian, Tan Rong, et al. A model for regional land use optimization allocation based on multi-agent system and its application[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(7): 972—984. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张鸿辉, 曾永年, 谭荣. 基于多智能体的农地非农化时空模拟与规划模型[J]. *测绘学报*, 2011, 40(3): 366—372.  
Zhang Honghui, Zeng Yongnian, Tan Rong. A spatio-temporal simulation and planning model for Farmland conversion based on multi-agent systems[J]. *Acta Geodetica et Cartographica Sinica*, 2011, 40(3): 366—372. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张鸿辉, 曾永年, 金晓斌, 等. 多智能体城市土地扩张模型及其应用[J]. *地理学报*, 2008, 63(8): 869—881.  
Zhang Honghui, Zeng Yongnian, Jin Xiaobin, et al. Urban land expansion model based on multi-agent system and application[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(8): 869—881. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张鸿辉, 曾永年, 刘慧敏. 多目标土地利用空间优化配置模型及其应用[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2011, 42(4): 1056—1065.  
Zhang Honghui, Zeng Yongnian, Liu Huimin. Multi-objective spatial optimization model for land use allocation and its application[J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2011, 42(4): 1056—1065. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张云鹏, 孙燕, 陈振杰. 基于多智能体的土地利用变化模拟[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(4): 255—265.  
Zhang Yunpeng, Sun Yan, Chen Zhenjie. Simulation of land use change using multi-agent model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(4): 255—265. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王涛, 陈海, 白红英, 等. 基于 Agent 建模的农户土地利用行为模拟研究: 以陕西省米脂县孟岔村为例[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(12): 2056—2066.  
Wang Tao, Chen Hai, Bai Hongying, et al. Agent-based modeling of simulation on households land-use behavior: A case of Mengcha village of Mizhi county in Shaanxi Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(12): 2056—2066. (in Chinese with English abstract)
- [19] 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.  
Chen Hai, Wang Tao, Liang Xiaoying, et al. Simulation and application of household's LUCC based on a multi-agent system: A case study for Mengcha village of Mizhi county of Shaanxi province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1448—1456. (in Chinese with English abstract)
- [20] Bousquet F, Le Page C. Multi-agent simulations and ecosystem management: A review[J]. *Ecological Modelling*, 2004, 176(3): 313—332.
- [21] Niazi M, Hussain A. Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: A visual survey[J]. *Scientometrics*, 2011, 89(2): 479—499.
- [22] Helbing D. *Social Self-Organization*[M]. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012: 25—70.
- [23] Parker D C, Manson S M, Janssen M A, et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(2): 314—337.
- [24] Yan Dan, Huan Heqing, Liu Gaohuan, et al. A Multi-agent model to simulate regional land use change with an application to the Poyang Lake Area of China[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2012, 3(4): 349—358.
- [25] 吴文斌, 杨鹏, 柴崎亮介, 等. 基于 Agent 的土地利用/土地覆盖变化模型的研究进展[J]. *地理科学*, 2007, 27(4): 573—578.  
Wu Wenbin, Yang Peng, ShibasakiYosuke, et al. Agent-based model for land-use/cover change: A review[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(4): 573—578. (in Chinese with English abstract)
- [26] 邓祥征, 林英志, 黄河清. 土地系统动态模拟方法研究进展[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(10): 2123—2129.  
Deng Xiangzheng, Lin Yingzhi, Huang Heqing. Simulation of land system dynamics: A review[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 2123—2129. (in Chinese with English abstract)
- [27] 田光进, 郭建国. 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.  
Tian Guangjin, Guo Jianguo. Simulating land use change with agent-based models: Progress and prospects[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4451—4459. (in Chinese with English abstract)
- [28] Ferber J. *Multi-agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*[M]. Boston: Addison-Wesley Longman, 1999: 509.
- [29] 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.  
Yu Qiangyi, Wu Wenbin, Tang Huajun, et al. Complex system theory and agent-based modeling: Progresses in land change science[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1518—1530. (in Chinese with English abstract)

[30] Valbuena D, Verburg P, Bregt A, et al. An agent-based approach to model land-use change at a regional scale[J]. *Landscape Ecology*, 2010, 25(2): 185—199.

[31] 谭淑豪, 曲福田, 黄贤金. 市场经济环境下不同类型农户土地利用行为差异及土地保护政策分析[J]. *南京农业大学学报*, 2001, 24(2): 110—114.

## Method of multi-agent system for simulating land-use decision-making behavior of farmer households

Chang Xiao<sup>1</sup>, Liu Liming<sup>1\*</sup>, Liu Zhaoxu<sup>1</sup>, Chen Weiqiang<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In order to find out the key nodes of land use regulations, and provide scientific support for the formulation of the relevant policies and the measures, multi-agent system (MAS) offers a bottom-up approach to explore the internal mechanism of land use change through simulating the decision-making behavior of micro-level agents. With a case study of Xiaozhuang Village in Tanghe County, Henan Province, this paper took farmers' choice between cotton and peanut as an example, and attempted to explore the application possibility of MAS approach in the study of agricultural land use change by simulating land use decision-making behavior of farmer households. This study constructed a conceptual framework of land-use decisions for farmer households base-on MAS, in which household's decision-making behavior was affected by both internal factors (ability and willingness) and external factors (market, policy, natural conditions and interaction with other households). And the conceptual framework analyzed the cycle mechanism among these factors: Internal factors were the direct and core factors in households' decision-making process, external factors affected their decision-making behavior indirectly through influencing internal factors, i.e. ability or willingness, and the cumulative result of farmers' decisions could change land-use pattern of the region as a whole, which would further influence internal and external factors. Then a mathematical model was given based on the conceptual framework to simulate the decision-making process of the households: First, the internal-factor-based decision-making rule was formulated to get the internal decision-making value, which was regarded as the base value. Then external factors were taken into account to amend the base value and to get the final decision-making value. The results demonstrated that: 1) Internal decision-making value on peanut was generally higher than on cotton, although the value varied from one household to another. Market factors strengthened households' willingness to grow peanuts. The effects of interaction on households varied based on each household's characteristic. In general, external factors made households more likely to grow peanut rather than cotton, increased households' final decision-making value on peanut but decreased that on cotton. 2) Simulated value of area ratio (cotton/peanut) is 0.26:0.74, which was in good agreement with the actual value 0.26:0.74 (The simulated value was only 5.4% higher than the actual value). Thus, the simulation caught the key factors in households' decision-making process such as profit, labor, market, etc. It also well explained and predicted decision-making behavior of households, the land-use pattern and change of the region. Furthermore, the reason behind the results were discussed: Considering the labor-dependent characteristic, the suitability of natural conditions, and price stability, cotton was in a relatively inferior position than peanut in research field, so the households were very sensitive to the price drop of cotton in the year 2011, which brought about huge negative impact on local cotton cultivation, and peanuts became main autumn commercial crop in Xiaozhuang Village in the year 2012. 3) The relationship between the benefit of households and the market was analyzed: Although closely relevant with each other, they were essentially different. Market was a regional-scale indicator that represented the average level of the area as a whole. Benefit was a household-scale indicator whose value was influenced by some irregular or uncontrollable factors, which reflected the complexity of the households' decision-making behavior. The construction of the model was to simulate the complicated real world, meanwhile to abstract and simplify it, so how to balance the relationship between "simulation" and "simplification" was very important in the model design and expression. 4) In this case, labor was chosen as the ability factor, because contradiction between the labor-dependent characteristic of the crops (especially cotton) and the labor loss (caused by high opportunity cost) made labor the primary factor influencing, even determining households' ability. In practical application, the ability factors can vary under different situations. This model can provide theoretical foundation for the regulation of farmer households' land-use behavior, and help promote efficient agricultural land use fundamentally.

**Key words:** land use, multi-agent systems, behavior research, farmer, decisions, simulation

(责任编辑: 张俊芳)