

# 基于CR-BDI模型的农户作物种植行为模拟 ——以陕西省米脂县姜兴庄为例

王艳妮, 陈海\*, 宋世雄, 梅亚军, 温馨

(西北大学城市与环境学院, 西安 710127)

**摘要:**运用模拟平台模拟农户土地利用行为,对揭示农户土地利用变化机制和调整土地利用决策具有重要意义。本文选择生态脆弱区一乡一业、一村一品典型村陕西省米脂县姜兴庄为例,以信念—愿望—意图模型(BDI)为基础,构建有限理性能力与资源(CR-BDI)模型。基于NetLogo平台对CR-BDI模型和传统BDI模型的模拟情况进行对比分析,结果表明:①CR-BDI模型更适于微观尺度农户土地利用决策研究。2014年该模型面积失误率为6.78%,比传统BDI模型低8.48%,空间准确率比传统BDI模型高10.10%,2015年CR-BDI模型和传统BDI模型的整体空间正确率分别为78.8%和69.2%;②CR指数有利于体现农户的有限理性,与实际种植决策较为符合;③利用NetLogo平台有利于直观再现农户土地利用行为,揭示土地利用变化的微观机理,可作为研究土地利用变化互动机理的良好平台。

**关键词:**农户行为;土地利用;种植;有限理性;NetLogo平台;模拟;CR-BDI模型;陕西省米脂县姜兴庄

## 1 引言

自1979年农村经济体制改革以来,作为中国农村社会基本细胞的农户,逐渐成为农村社会经济活动的主体(张小林等,2002)。农户的土地利用行为决策与农村资源的开发利用、农业景观格局演变以及农村可持续发展等方面的联系日益紧密(宋长青等,2005;梁小英等,2010;张佰林等,2016)。探讨微观主体——农户的土地利用行为与农业土地利用格局之间的互动机理,对了解农户行为的变迁,认识和理解农业土地利用格局的演变特征和过程,进而调控农户土地利用行为和优化农业景观格局具有重要的意义(张保华等,2007;陈海等,2008;陈海等,2014)。

通过土地利用情景模拟模型,可有效地阐明人类需求驱动下的环境变化及人类如何适应自然与社会经济变化(Costanza et al, 1998; 吴文斌等,

2007)。相对其他模型而言,基于智能体模型(Agent Based Model, ABM)可以反映景观中具有自动性、异质性和分散性的人类决策,利于阐明行为人对变化的自然与社会经济环境的适应机制,揭示土地利用变化和环境变化之间的动态反馈作用(陈海等,2008;杜守帅等,2011;张云鹏等,2013),因而在自然资源管理、农业经济和城市模拟等领域得到广泛应用(陈海等,2008; Balke et al, 2014)。目前,利用决策理论模拟智能体决策已成为研究趋势之一,其中,BDI模型(Belief-Desires-Intension)来源于心理学家Bratman的思想,由于其具有在复杂动态环境模拟中构建推理系统的优势而得到广泛应用(引自Balke et al, 2014),目前主要集中于理性经济人决策模型研究方面,部分学者对微观主体的有限理性行为进行了积极研究,比较有代表性的有eBDI模型和BOID模型(Le et al, 2008; Balke et al, 2014),但上述研究大多为理论探讨,目前还鲜有土地利用

收稿日期:2016-06;修订日期:2016-08。

基金项目:国家自然科学基金项目(41271103) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41271103]。

作者简介:王艳妮(1990-),女,山东潍坊人,硕士研究生,主要从事土地利用变化研究,E-mail: wynnwu2013@163.com。

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

引用格式:王艳妮,陈海,宋世雄,等.2016.基于CR-BDI模型的农户作物种植行为模拟:以陕西省米脂县姜兴庄为例[J].地理科学进展,35(10):1258-1268. [Wang Y N, Chen H, Song S X, et al. 2016. Simulation of households' planting behavior based on a CR-BDI model: Case study of Jiangxingzhuang Village of Mizhi County in Shaanxi Province[J]. Progress in Geography, 35(10): 1258-1268. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.10.009

变化领域的理论与案例研究。

NetLogo作为一个多智能体建模仿真集成环境,特别适合于随时间演化的复杂系统的建模仿真。国内外已有不少学者运用NetLogo研究土地利用,如Feitosa等(2011)将人口动态模型与景观动态模型相结合研究城市隔离现象;Filatova等(2011)研究了土地市场、价格、税收及生态服务价值等因素对沿海城市土地利用格局及其生态效应的影响。上述研究为土地利用的空间决策提供了有效的方法,但由于研究大多集中在城市,且土地利用的主体往往是群体或类群,对个体决策、尤其是微观尺度农户行为决策研究没有涉及。在农户决策方面,较有代表性的如Le等(2008)研究了基于劳动力预算、地块面积大小等因素对农户森林砍伐决策所作出的时空动态耦合模拟;Mena等(2011)对相对封闭海岛居民的生计与环境之间的复杂关系模拟研究,探讨入侵作物的扩张对农户土地利用决策的影响;但这些研究均未涉及农户的有限理性决策问题。

基于此,本文拟运用BDI决策模型,通过获取反映农户有限理性的能力与资源参数,构建有限理性能力与资源CR-BDI模型,模拟和检验农户的有限理性行为,并结合NetLogo模拟平台展示农户土地利用行为所引发的土地利用数量和空间上的变化,以此来揭示生态脆弱区土地利用变化的微观机理。在模拟时先利用2013年实际土地利用种植以及分布情况,模拟2014年土地种植情况以及不同作物分布情况,并通过与2014年实际情况加以对比,既可展示姜兴庄现实的模拟结果,又可对驱动力因素选择的准确性作出检验;之后为进一步验证构建模型模拟的有效性,用2014年土地利用情况对2015年土地利用情况进行模拟验证。

## 2 研究区域与数据

### 2.1 研究区概况

米脂县位于陕西省北部,属典型的黄土高原沟壑区,以梁、峁为主,水土流失严重、生态脆弱,属中温带半干旱性气候区,降水年际变化大且空间分布不均。为减轻水土流失对黄河流域的影响,米脂县于1999年被国家林业局列为首批退耕还林示范县。1999-2006年,退耕还林(草)面积共115.67 km<sup>2</sup>,林草地所占的面积比重从1999年的31.3%上升为2006年的40.8%,耕地相应地从由65%减少至

53.15%(郗静,2009)。2006年之后,耕地与林草地之间面积占比基本保持上述格局。

高渠乡是米脂县退耕还林典型乡镇,1999-2006年,林地和耕地面积年变化率分别为3.32%与3.17%。高渠乡的农业主要以种植薯类、小杂粮、土豆为主,并种植红葱、苹果等经济作物。随着红葱成为高渠乡特色的经济作物,该乡已于2010年被定为陕西省农业厅第三批一乡一业示范乡镇(陈姗姗等,2012)。为探索在保护环境的前提下,如何有效发展农村经济,揭示农村经济发展的微观机理,选取一乡一业、一村一品典型村——姜兴庄作为研究对象。姜兴庄自2000年起执行退耕还林政策,土地利用方式发生很大变化。2005年山地基本退耕或种植经济林,其中退耕面积约占总面积的40%。目前,川地主要种植红葱、土豆等经济作物以及谷子、豆类等粮食作物;相对于川地,坝地种植较稳定,以种植玉米为主。全村耕地约61 hm<sup>2</sup>,果树约占35%。图1为2015年玉米、土豆、红葱、杂粮等作物的分布情况,可以看出:玉米一般分布在村中部的坝地,土豆和红葱分布在村西北部的川地,杂粮主要分布在村西部和东部的川地;上述4种作物所占比例分别为18.4%、15.7%、21.3%、9.5%。全村农户约有154户,约有80户外出打工,其耕地一般由亲属或者邻居种植,剩余务农农户中约有20余户为年迈老人,仅在院落种植杂粮、土豆满足生活需求,全村以种植作物谋生的农户约为51户。

### 2.2 数据来源及处理流程

#### 2.2.1 数据来源

(1) 农户问卷调查数据。主要通过参与式乡村评估(Participatory Rural Appraisal, PRA)与入户问卷调查结合的方法获取有效农户调查数据。调研在村干部的带领下进行:一是便于与农户沟通,二是适当听取村干部的意见,尽可能选取所有农户类型。调研先后于2013-2015年暑假(7-8月)进行,基本覆盖所有常年在家务农的农户。每年获取的有效问卷数量在35份左右,占当年在家务农农户总量的60%以上,问卷有效率在95%以上。调查内容主要包括农户家庭劳动力数量、种植产出情况、作物出售价格、影响自身种植作物的因素,以及作物种植面积与地籍信息等。

(2) 2013-2015年姜兴庄土地利用图及地籍图。运用已有的2012年姜兴庄土地利用类型底图和2015年手持GPS定位仪测定的数据,在ArcGIS

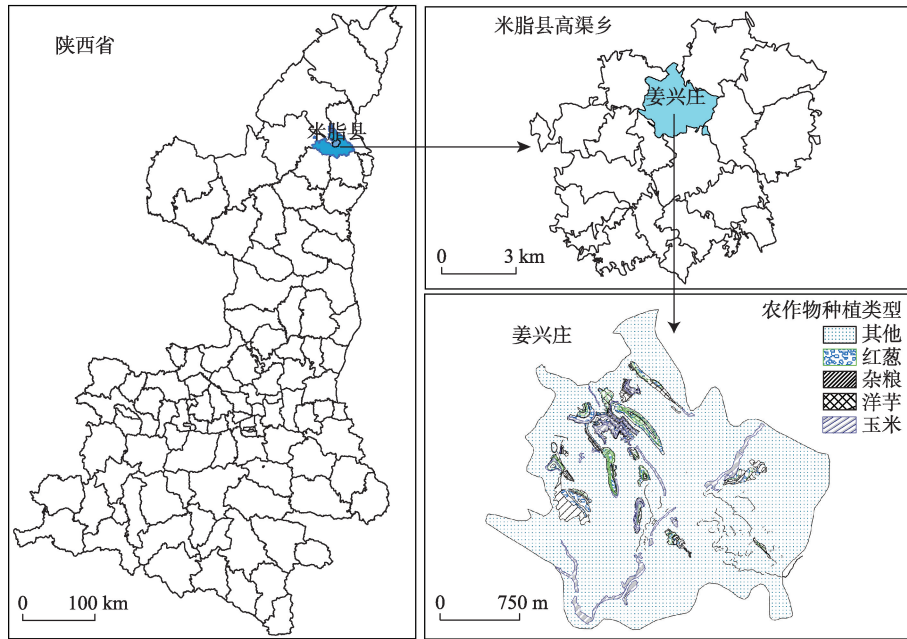


图1 研究区位置及主要农作物分布概况图

Fig.1 Distribution of the main crops in the study area

10.1 环境下,参照手持GPS 定位仪测定的土地利用类型特征点,人工绘制2013、2014及2015 年研究区的土地利用类型图,并对地块的权属信息进行完善,其中调研农户的土地面积约占全村作物种植面积的47%。为与DEM数据匹配,将土地类型图及距道路距离图全部转化为5 m×5 m分辨率的栅格数据。

(3) DEM数据分辨率为5 m,来自中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。

### 2.2.2 处理流程

数据处理流程如图2所示:数据处理大体分为

农户有限理性决策模型构建及NetLogo实现与检验2部分。以BDI模型为基础,通过构建能力与资源修正指数,修正农户的愿望,构建农户CR-BDI有限理性决策模型。在此基础上,基于NetLogo模拟平台,模拟农户下年度的土地利用决策,并结合实际土地利用数据,检验和验证模型的有效性。

## 3 农户有限理性决策模型的构建

### 3.1 信念模型

BDI模型即信念—愿望—意图模型,本文在构建基于有限理性的BDI信念模型时,参照陈海等对

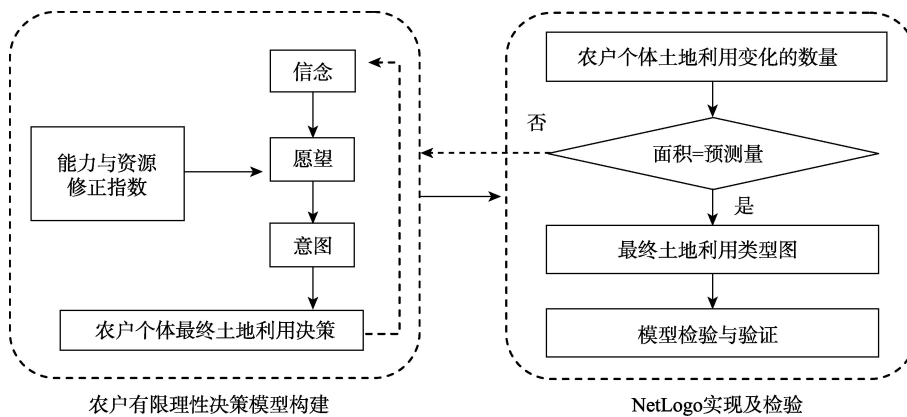


图2 数据处理流程图

Fig.2 Flowchart of data processing



BDI信念(陈海等, 2009; 陈海等, 2014)描述, 认为信念是指智能体(Agent)对目前系统状态的认识和未来状态的估计。表达式为:

$$B_{ikt} = f\{P_{ikt}, Im_{ikt}\} \quad (1)$$

式中:  $B_{ikt}$  为目前农户  $i$  在时间  $t$  对种植作物  $k$  的信念;  $P_{ikt}$  是农户  $i$  在时间  $t$  对种植作物  $k$  的自然环境及耕作条件的认识;  $Im_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  种植作物  $k$  的重要性。就研究区而言, 影响该区域农户种植的自然因素主要为海拔高度、坡度以及距主要道路的距离; 由于研究区耕地为梯田, 故本文不考虑坡度因素, 而将距主要道路距离、海拔高度列为主导影响因素。为量化表示农户对自然条件的认识, 拟以任一条件下某种作物的面积与该条件作物面积的比值, 来代表农户对该条件下作物种植的认识。因此,  $P_{ikt}$  表达如下:

$$P_{ikt} = \frac{Area_{DA_{iktsj}}}{\sum_{t=1}^4 Area_{DA_{iktsj}}} \quad (2)$$

式中:  $Area_{DA_{iktsj}}$  为自然条件  $DA_{iktsj}$  下作物  $k$  的面积;  $DA_{iktsj}$  为时间  $t$  农户  $i$  作物  $k$  距主要道路距离  $s$  与高度为  $j$  时的自然条件, 其中  $D$ 、 $A$  分别表示距离和海拔高度。农户依据与主要道路的距离和海拔高度等因素综合判断自然条件对作物种植的影响。为较精确地反映农户对自然条件的认识, 同时也为了便于计算, 将距离 (*distance*) 与海拔高度 (*altitude*) 各分为5类(表1)。为量化表达自然条件, 构建公式如下:

$$DA_{iktsj} = distance_{ikts} \times 10 + altitude_{iktsj} \quad (3)$$

式中: *distance* 为地块到村庄主要道路的距离, *altitude* 为地块的海拔高度。

本文通过土地利用类型重要性  $Im_{ikt}$  来代表农户对土地利用的安排和认识。不同土地利用方式的排序可以表征不同土地类型对农户的重要性。作为农户后续决策的基础, 该参数的公式如下:

$$Im_{ikt} = \frac{Income_{ikt}}{\sum_{k=1}^n Income_{ikt(k=1,2,\dots,n)}} \quad (4)$$

式中:  $Im_{ikt}$  为土地利用类型重要性;  $m_{ikt}$  表示时间  $t$  农户  $i$  第  $k$  种作物的重要性;  $\sum_{k=1}^n Income_{ikt(k=1,2,\dots,n)}$  表示时间  $t$  农户  $i$  的农业总收入。 $Im_{ikt}$  数值越大, 表明第  $k$  种作物对于农户  $i$  越重要, 改变第  $k$  种作物种植的可能性越小。

### 3.2 愿望模型

农户愿望是农户希望达到的状态, 通过农户扩大或者缩小种植规模而表现; 传统BDI模型大多利用效益最大化模型(Le et al, 2008; 梁小英等, 2010), 即农户通常会将收益最大的作物保留, 并将其他作物转化为收益最大的作物, 作为农户在现有条件下的种植“最优解”。为了表征农户的有限理性, 真实反映其对市场和自身种植状况的认识, 本文在传统愿望模型的基础上添加有限理性因素作为农户的愿望模型, 表达式如下:

$$D_{ikt} = Im_{ikt} \times M_{ikt} \times CR_{ikt} \quad (5)$$

式中:  $M_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  认为市场对第  $k$  种作物的影响;  $CR_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  认为种植第  $k$  种作物的能力与资源修正指数, 以此来表征其实际的决策水平, 其他参数含义如上。

#### 3.2.1 市场对作物的影响

为了真实体现农户对市场信息的了解, 结合调研的实际状况, 选取近2年来不同作物出售价格的比值作为市场对不同作物的影响, 计算公式如下:

$$M_{kt} = \frac{Price_{kt}}{Price_{k,t-1}} \quad (6)$$

式中:  $Price_{kt}$  表示时间  $t$  第  $k$  种作物价格;  $Price_{k,t-1}$  表示  $t-1$  年第  $k$  种作物的价格。如果  $M_{kt} > 1$ , 表明第  $k$  种作物的价格上涨, 农户一般会考虑扩大该种作物的种植规模; 如果  $M_{kt} < 1$ , 农户可能会缩小种植规模或改种其他收益作物。

表1 距离和海拔高度等级划分表/m

Tab.1 Distance and altitude classes/m

等级	1	2	3	4	5
距离	0~99	99~220	220~330	330~455	455~1400
海拔高度	971~990	990~1020	1020~1033	1033~1058	1058~1110

注: 如31表示距离在220~330 m和海拔高度在971~990 m的自然条件, 31+41表示距离在220~330 m和海拔高度在971~990 m以及距离在330~455 m和海拔高度在971~990 m的自然条件。

3.2.2 农户能力与资源指数(CR)

农户能力与资源(CR)修正指数的公式如下:

$$CR_{ikt} = W_{1k} \times Capability_{ikt} + W_{2k} \times Resources_{ikt} \quad (7)$$

式中:  $Capability_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  种植第  $k$  种作物的能力;  $Resources_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  种植第  $k$  种作物的资源;  $W_{1k}$  和  $W_{2k}$  为权重因子, 分别为  $Capability$  和  $Resources$  权重。  $W_{1k}$  和  $W_{2k}$  的计算公式如下:

$$W_{1k} = \frac{\beta_{1k}}{\beta_{1k} + \beta_{2k}} \quad (8)$$

$$\beta_{hk} = \frac{n_{hk}}{n_{sum}} \quad (h=1, 2) \quad (9)$$

式中:  $n_{sum}$  为被调查农户的总数;  $n_{hk}$  是指种植第  $k$  种作物选择经济效益或劳动力因素的农户数量;  $\beta_{hk}$  为种植第  $k$  种作物选择经济效益或选择劳动力的户数占被调查总户数的比例(常笑等, 2013);  $h$  为经济效益或劳动力因素。  $W_{1k}$  表示归一化后的权重; 可根据  $W_{1k} + W_{2k} = 1$ , 得出  $W_{2k}$  值。

$Capability_{ikt}$  为农户对经济效益的判断、政策把握及种植技术的掌握等方面的能力。调研时发现, 该区域的政策主要涉及退耕还林及耕地补贴等, 上述政策对农户的耕地决策行为影响不大; 该村的作物均世代耕作, 不存在未掌握种植技术的情况, 故文中对此不作讨论。因此, 本文构建的能力参数表达为经济效益( $Profit_{ikt}$ ), 为时间  $t$  农户  $i$  种植第  $k$  种作物的经济效益参数。为体现不同作物的经济效益对农户行为的影响, 采用时间  $t$  农户  $i$  种植第  $k$  种作物的平均利润占该农户所有作物平均利润之比重新加以表达。一般而言,  $Profit_{ikt}$  越大, 表明农户种植该种作物的能力越高。  $Profit_{ikt}$  构建如下:

$$Capability_{ikt} = Profit_{ikt} = \frac{P_{ikt}}{\sum_{k=1}^n P_{ikt(n=1,2,\dots,21)}} \quad (10)$$

式中:  $P_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  种植第  $k$  种作物每亩地的平均利润;  $\sum_{k=1}^n P_{ikt(n=1,2,\dots,21)}$  为时间  $t$  农户  $i$  种植  $k$  种作物每亩地的平均利润之和。

资源参数为劳动力  $Labor_{ikt}$  影响因素, 公式如下:

$$Resources_{ikt} = Labor_{ikt} = \frac{L_{it} - L_{tmin}}{L_{tmax} - L_{tmin}} \quad (11)$$

式中:  $Labor_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  的农业劳动人数对第  $k$  种作物的影响;  $L_{it}$  表示时间  $t$  农户  $i$  的农业劳动人数;  $L_{tmin}$  表示时间  $t$  被调查农户农业劳动人数的

最小值;  $L_{tmax}$  表示时间  $t$  被调查农户农业劳动人数的最大值。

3.3 意图模型

意图是农户的最终决定, 它除了受农户自身愿望影响外, 还受种植作物收益大小的影响。最终意图( $I_{ik,t+1}$ )构建如下:

$$I_{ik,t+1} = f\{D_{ikt}, In_{ikt}\} = D_{ikt} \times In_{ikt} \quad (12)$$

式中:  $D_{ikt}$  为时间  $t$  农户  $i$  种植第  $k$  种作物的种植愿望;  $In_{ikt}$  表示为作物收益系数, 本文用时间  $t$  所有农户第  $k$  种作物的收入与所有农户的所有作物收入之和的比值表示, 公式如下:

$$In_{ikt} = \frac{\sum_{i=1}^n Income_{ikt}}{\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n Income_{ikt}} \quad (13)$$

式中:  $\sum_{i=1}^n Income_{ikt}$  表示时间  $t$  所有农户种植第  $k$  种作物的总收入;  $\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n Income_{ikt}$  表示时间  $t$  所有农户种植作物的总收入;  $n$  是指农户的数量;  $m$  指种植作物的种类。  $In_{ikt}$  值越大, 表明该作物的在研究区所占的收益比重越大, 作物  $k$  种植稳定性就越大; 反之, 改变种植的可能性就会较大。

4 结果与分析

4.1 农户信念分析

基于式(2)-(3)及相关假设, 计算得出农户对自然条件的认识  $P_{ikt}$ 。图3为主要  $DA_{iktsj}$  条件下作物  $P_{ikt}$  值适宜种植情况。从图3可以看出, 各种作物都有其适宜的种植范围。玉米适宜种植在海拔较低

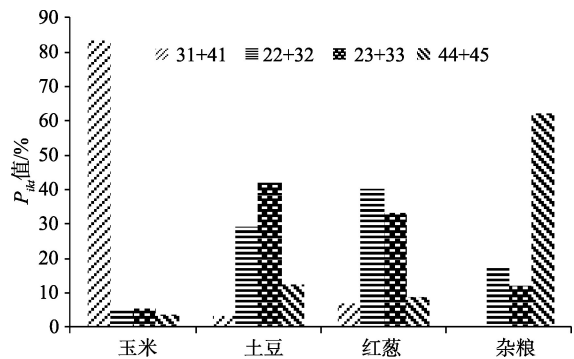


图3 农户对自然条件的认知图

Fig.3 Perception of the farmers for the natural conditions

的位置,如在  $DA_{iktsj}=(31+41)$ ,即距道路距离 $>200$  m,且高度 $<990$  m的区域,其种植面积的比重达83%;土豆适宜种植在距道路较近、海拔略高的区域,如在(23+33)自然条件下,种植面积比重达73%;红葱的适宜种植范围与土豆相似,但更倾向于种植在海拔高度偏低的地区;杂粮适宜种植在距离道路较远、海拔较高的位置,在自然条件为(44+45)地区种植面积的比重达65%。

由式(4)可计算出农户的土地利用方式重要性  $Im_{ikt}$ ,由于调研农户较多,为清晰地表达不同类型农户的种植情况,表2仅列出典型农户的  $Im_{ikt}$ ,约占2013-2015年调研农户数据的43%。

从表2可看出,不同作物的重要性不同。就姜兴庄整体而言,红葱的重要性值最大,这与该村将红葱作为主导产业的现状相一致。其次是玉米和土豆,杂粮的重要性最低(均值仅为12%)。为进一步分析农户的种植特征,本文依据主要作物(玉米、土豆和红葱)的重要性状况,将农户划分两大类型:均衡种植农户和非均衡种植农户;前者主要是指玉米、土豆、红葱三者的重要性参数大体相等,如农户1和农户2,以农户1较为典型,3种作物的重要性参数均大于0.3;后者还可进一步划分为3种类型:玉米重要性高的类型,如表2中的农户3和农户4;土豆重要性大的类型,如农户5和农户6;红葱重要性大的类型,如农户7、农户8和农户9。在21户农户中,均衡种植户有6户,玉米重要性大的农户有3户,红葱重要性大的农户有9户,土豆重要性大的农户有3户。

4.2 农户愿望分析

依据式(7)-(11),计算得到有限理性CR指数

表2 农户土地利用重要性

Tab.2 Importance of farming households' land use

农户序号	玉米	土豆	红葱	杂粮
1	0.36	0.33	0.31	0.00
2	0.32	0.25	0.38	0.05
3	0.65	0.19	0.16	0.00
4	0.46	0.11	0.25	0.18
5	0.21	0.47	0.22	0.10
6	0.23	0.40	0.23	0.14
7	0.17	0.15	0.54	0.14
8	0.18	0.17	0.53	0.12
9	0.23	0.12	0.65	0.00
村庄整体均值	0.30	0.22	0.36	0.12

(表3)。从表3可以看出,①就农户整体角度来看,在能力指数方面,红葱最高,土豆和玉米次之,杂粮的能力指数最低,这与该村以红葱种植为主相一致;在资源指数方面,杂粮最高,土豆、玉米和红葱次之。②CR指数可进一步表征同一类农户间的差异性。相比较而言,能力指数对农户差异的分离度要大于资源指数的分离度。结合表2可知,农户1与农户2都为均衡种植农户,但农户2各种作物的能力指数有较大差异,农户1各作物能力指数较为接近。这表明,即使是同一类农户,其不同作物的能力指数也有较大差异。③不同类型农户在CR指数方面也表现出相似性。就能力指数而言,表中所有农户红葱的能力指数均为最高。

根据式(5),可计算得到农户的愿望,表4为典型农户的愿望表。从表4可看出:①就农户整体来

表3 农户CR指数表

Tab.3 Bounded rationality (CR) of the typical farming households

农户序号	能力(经济效益)指数				资源(劳动力)指数			
	玉米	土豆	红葱	杂粮	玉米	土豆	红葱	杂粮
1	0.15	0.16	0.15	0.00	0.21	0.27	0.20	0.28
2	0.09	0.12	0.15	0.10	0.43	0.53	0.41	0.56
3	0.16	0.14	0.16	0.00	0.21	0.27	0.20	0.28
4	0.12	0.12	0.14	0.08	0.21	0.27	0.20	0.28
5	0.09	0.13	0.15	0.11	0.21	0.27	0.20	0.28
6	0.09	0.14	0.16	0.10	0.21	0.27	0.20	0.28
7	0.12	0.13	0.17	0.09	0.21	0.27	0.20	0.28
8	0.10	0.13	0.16	0.11	0.21	0.27	0.20	0.28
9	0.15	0.15	0.19	0.00	0.21	0.27	0.20	0.28
村庄整体均值	0.12	0.13	0.16	0.09	0.21	0.25	0.20	0.27

表4 典型农户决策的愿望表

Tab.4 Desire of the typical farming households in decision making

农户序号	玉米	土豆	红葱	杂粮
1	0.14	0.11	0.13	0.00
2	0.20	0.14	0.17	0.04
3	0.29	0.06	0.08	0.00
4	0.16	0.06	0.12	0.06
5	0.09	0.13	0.07	0.03
6	0.11	0.12	0.07	0.05
7	0.07	0.05	0.22	0.06
8	0.09	0.03	0.14	0.06
9	0.05	0.03	0.08	0.00
村庄整体均值	0.13	0.10	0.16	0.04

看,研究区种植红葱的愿望最高,其次为玉米和土豆,杂粮的种植愿望最低。②从农户类型来看,虽然均衡种植农户种植玉米的愿望较高,但与其他作物间的差距不是很大;相比较其他农户各类作物的差值来看,农户决策意愿仍较为平均;结合表2,其他类型的农户种植意愿与种植信念基本一致,如以红葱种植信念较高的农户,其种植愿望也较高。

#### 4.3 农户意图分析

根据式(13)得到研究区玉米、土豆、红葱和杂粮4种作物的收益系数分别为0.24、0.28、0.33和0.15。红葱的收益系数值最大,其次为土豆和玉米,杂粮的收益系数值最低,这表明红葱在研究区占十分重要地位,农户一般不会考虑将红葱转变为其他作物,而将杂粮等收益系数小的作物转变为其他收益系数大作物的可能性较高。

由式(12)得到基于CR-BDI的农户土地利用决策结果(表5)。从表5可以看出,在村庄的面积误差方面,模拟结果与2015年实际情况相对比,误差合计为6.78%,其中红葱的村庄失误面积累计最高,为

1.86 hm<sup>2</sup>;其次为玉米、土豆和杂粮。从农户类型来看,均衡种植户的失误率最低,模拟效果最好。第二类农户中,主要作物的预测较为准确,如以玉米种植为主的农户,玉米模拟的正确率相对其他作物较高。

#### 4.4 模型的检验与验证

结合2013和2014年的实际调研数据,利用NetLogo平台对CR-BDI模型与BDI模型的模拟结果进行对比研究。对比主要集中在以2个方面:一是各地类模拟数量的对比,二是各地类空间位置的对比。前者包括2个层面:村庄整体层面与典型农户层面。BDI模型数量模拟结果见表6,2种模型空间差异对比见图4(在NetLogo平台中设置模拟准确的作物地类用蓝色表示,红色表示模拟失误的作物地类分布)。

结合表5和表6可看出:从村庄整体来看,BDI模型的整体失误率为15.26%,高于CR-BDI模型。但BDI模型红葱的模拟结果优于CR-BDI的模拟结果,进一步对比发现,BDI模型红葱失误面积比CR-

表5 CR-BDI模型决策模拟结果/hm<sup>2</sup>

Tab.5 Simulation result of the CR-BDI model/hm<sup>2</sup>

农户序号	玉米	土豆	红葱	杂粮	农户失误率合计/%
1	0.37(-0.03)	0.29(0.02)	0.28(0.01)	0.00(0.00)	6.38
2	0.55(-0.05)	0.40(0.02)	0.44(0.07)	0.05(-0.02)	10.61
3	0.54(0.05)	0.12(-0.02)	0.08(-0.03)	0.00(0.00)	13.89
4	0.71(0.06)	0.09(-0.05)	0.35(0.04)	0.15(-0.05)	15.75
5	0.34(-0.06)	0.67(0.02)	0.39(0.06)	0.05(-0.02)	10.06
6	0.49(-0.04)	0.63(-0.04)	0.47(0.10)	0.12(-0.02)	12.59
7	0.14(0.03)	0.07(-0.04)	0.54(0.07)	0.08(-0.05)	23.53
8	0.17(-0.05)	0.04(-0.02)	0.52(0.09)	0.07(-0.02)	23.38
9	0.25(-0.02)	0.08(-0.05)	0.57(0.07)	0.00(0.00)	14.58
村庄失误面积累计	1.21	0.96	1.86	0.76	6.78

注:括号内数字表示模拟值与实际面积的差值,表6同。

表6 BDI模型决策模拟结果/hm<sup>2</sup>

Tab.6 Simulation result of the BDI model/hm<sup>2</sup>

序号	玉米	土豆	红葱	杂粮	农户失误率合计/%
1	0.35(-0.06)	0.28(0.02)	0.31(0.04)	0.00(0.00)	12.77
2	0.50(-0.10)	0.46(0.08)	0.35(-0.02)	0.11(0.04)	18.18
3	0.42(-0.11)	0.20(0.07)	0.10(0.04)	0.00(0.00)	30.50
4	0.52(-0.16)	0.27(0.13)	0.33(0.08)	0.15(-0.05)	33.07
5	0.42(0.02)	0.50(-0.17)	0.40(0.06)	0.16(0.09)	22.97
6	0.56(0.03)	0.50(-0.15)	0.33(0.06)	0.20(0.06)	18.87
7	0.20(0.07)	0.20(0.09)	0.35(-0.12)	0.10(-0.04)	37.64
8	0.15(-0.05)	0.05(0.01)	0.51(0.11)	0.06(-0.07)	31.17
9	0.20(-0.10)	0.26(0.13)	0.50(-0.03)	0.00(0.00)	27.08
村庄失误面积累计	2.12	2.20	1.42	1.57	15.26



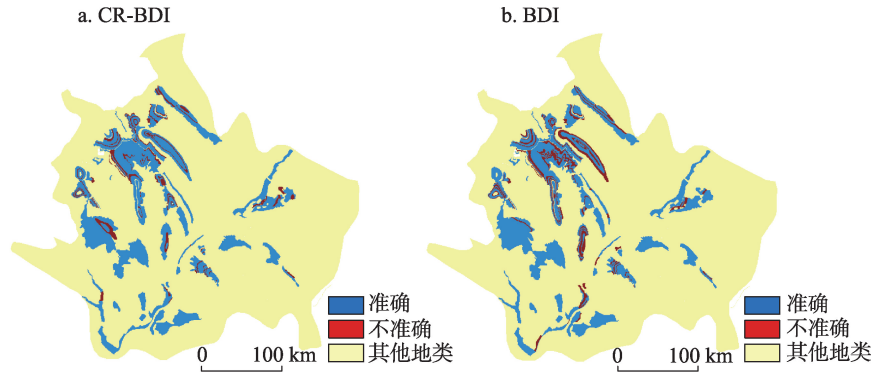


图4 CR-BDI与BDI模型失误分布图

Fig.4 Distribution of error of the CR-BDI and BDI models

BDI少0.44 hm<sup>2</sup>;其他作物如玉米、土豆和杂粮的村庄失误面积累计分别比CR-BDI模型高0.91、1.24和0.79 hm<sup>2</sup>。结合调研发现,出现这种情况的原因是农户种植杂粮、土豆及玉米更多是为满足自身及牲畜饲料需求,当有剩余时再进入市场,偏重于有限理性的表达;而选择种植红葱则更偏于增加收入。

从农户类型来看,与CR-BDI模型相比,采用BDI模型失误率较高,均衡种植农户的失误率相对其他农户类型较低;非均衡农户的失误率同样比CR-BDI模型要高。说明从整体上,CR-BDI模型能更好表达农户的行为决策,也表明姜兴庄农户在土地利用时并不是简单地追求效益的最大化(即采用“理性经济人决策”),而是呈现有限理性的特点,即决策趋向于“满意”。

2种模型模拟的空间差异如图4所示。其中,CR-BDI空间分布的正确率为81.3%,BDI模型的正确率为71.2%。从图4可以看出:两模型的模拟失误都主要集中在村庄西北部和中东部地区。为具体分析2种模型在不同自然条件下的优劣,对失误较大的自然条件进行具体分析(表7)。就作物类型

而言,2种模型中土豆和红葱的失误率较大,都占到各自总失误的69%和61%,杂粮次之,玉米失误最小。对比2种模型,玉米、土豆、杂粮等作物都是采用CR-BDI模型时失误较低;从红葱的模拟效果来看,BDI模型要优于CR-BDI模型的模拟结果:前者红葱面积失误累计为1.42 hm<sup>2</sup>,后者红葱面积失误累计为1.86 hm<sup>2</sup>。通过对红葱重要性高的农户分析发现,对该类农户红葱种植的模拟效果BDI模型要优于CR-BDI模型,两者红葱面积失误累计分别为0.48、1.14 hm<sup>2</sup>。由此看出以红葱种植为主的农户,其追求效益最大化决策的程度要高于其他农户。

从主要自然条件看(表7),2种模型在村庄北部与距道路距离较近、海拔高度略高(即自然条件类型为23+33)及村庄中部与道路距离略远、海拔高度较低的(即自然条件类型为22+32)失误率较高,在村庄中部距道路较远、海拔较低(31+41)区域总失误率及各种作物的失误最小。模拟在数量及空间位置存在差异及模拟失误的原因主要有:①土豆和红葱在种植位置上比较难以量化区分,从实际调研来看,农户一般会有意识将土豆种植在距道路较远处,红葱种植在距道路较近处,但在农户实际种植

表7 CR-BDI模型主要自然条件下失误表/%

Tab.7 Simulation errors of the main natural conditions of the CR-BDI and BDI models/%

自然条件	CR-BDI模型					BDI模型				
	玉米	土豆	红葱	杂粮	合计	玉米	土豆	红葱	杂粮	合计
31+41	0.2	0.3	0.3	0.0	0.8	0.4	0.8	0.5	0.0	1.7
22+32	0.6	1.5	2.2	0.9	5.2	1.2	2.1	1.8	1.2	6.3
23+33	0.5	1.7	2.6	0.7	5.5	1.0	2.5	2.3	1.2	7.0
44+45	0.3	0.7	1.0	1.4	3.4	0.7	1.1	0.9	2.1	4.8
整体失误	1.6	4.2	6.1	3.0		3.3	6.5	5.5	4.5	

注:自然条件31、41的数值如式(3)和表1所示,31+41表示31和41这2种自然条件下的情况,以此类推。



时,面对自然条件差异不大的地块,选择的随机性较大,因此增加了模拟的难度;②农户为通过轮作方式保持土壤肥力及减少病虫害发生的可能性,会在适宜土豆和红葱的土地上改种杂粮,这也是导致正确率降低的原因;③农户种植作物繁多,本文将谷子、糜子、花生、红豆、黑豆等作物归为杂粮,决策因素统一计算,难以考虑到每种作物的决策。

为进一步验证所构建的CR-BDI模型的有效性,本文通过NetLogo平台利用2014年的农户数据对2015年土地利用情况进行进一步的模拟验证,所得出的CR-BDI模型与BDI模型失误分布图如图5所示,其中CR-BDI模型正确率为78.8%,BDI模型正确率为69.2%。同样说明CR-BDI模型能更好地模拟农户的土地决策情况。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本文以BDI模型为基础,构建有限理性CR-BDI模型,以陕西省米脂县姜兴庄为例,基于NetLogo平台对农户土地利用行为进行模拟。通过对CR-BDI与BDI模型的对比分析,得到如下结论:

(1) 与BDI模型相比,CR-BDI模型模拟数量准确度较高。虽然利用BDI模型模拟红葱的效果要好于CR-BDI模型,但从该村整体来看CR-BDI模型比BDI模型模拟误差少8.48%。因此,CR-BDI模型能够较好地揭示微观尺度农户土地利用行为。

(2) CR-BDI模型在空间模拟结果的表达上更为准确。CR-BDI模型的2014年空间模拟正确率为81.3%,BDI模型的2014年空间模拟正确率为

71.2%;虽然BDI模型对红葱的模拟比CR-BDI略好,但对其他作物的空间模拟正确率都低于CR-BDI模型。用2014年数据模拟2015年土地利用情况,得到2015年CR-BDI模型正确率为78.8%,BDI模型正确率为69.2%。

(3) CR指数有利于体现农户的有限理性。通过2种模型的对比分析可知,正是由于CR指数的存在,使得CR-BDI模型比BDI模型的模拟效果更加符合实际种植情况,同时也表明研究区农户的决策并非简单的效益最大化,而是更多趋向于满意的决策。

(4) NetLogo平台有利于直观再现农户土地利用行为。其与GIS结合可从空间上展示农户的行为决策结果,可直观地再现微观主体——农户的土地利用过程,为揭示土地利用变化的微观驱动机理提供了良好的互动平台。

### 5.2 讨论

需要说明的是,本文仅对农户的有限理性进行初步探讨,没有进行更长时间的模拟,主要出于2个原因:一是在调研中发现,农户进行多年种植后,为保持地力,一般会考虑轮作,把农户的轮作行为纳入到决策中,将是下一步努力的重点;二是农户土地利用行为模拟的时间问题。一般而言,农户行为在短时期内模拟的效果较好,但时间较长(例如5~10年)模拟的效果较差。如何利用短期农户数据来模拟长期农户行为将是下一步研究的主要内容之一。

同类农户与不同农户间的相互作用也是影响农户决策的关键因素,考虑农户间的相互影响也是今后的努力方向。另外,本文的研究尺度较小,还

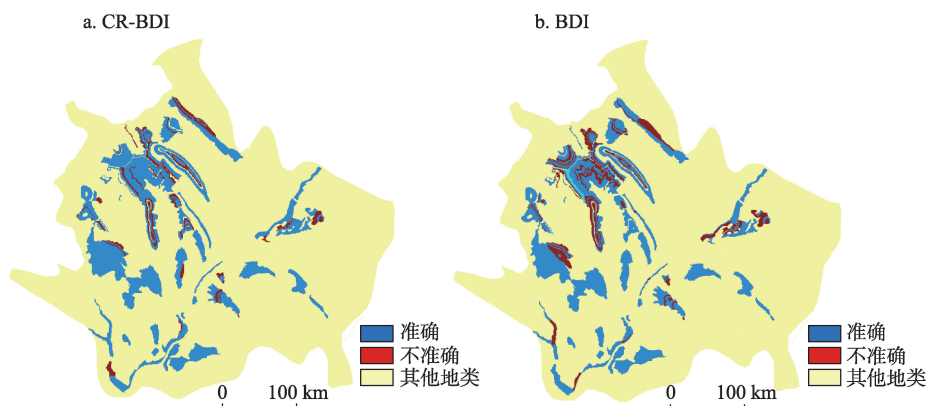


图5 2015年CR-BDI与BDI模型失误分布图

Fig.5 Distribution of error of the CR-BDI and BDI models for 2015

需要进一步探讨乡镇—县域—区域等较大空间尺度土地利用变化与微观主体间的相互作用机理,并在本文的基础上进一步探讨不同尺度间的转化机理。

### 参考文献(References)

- 常笑, 刘黎明, 刘朝旭, 等. 2013. 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, 29(14): 227-237. [Chang X, Liu L M, Liu Z X, et al. 2013. Method of multi-agent system for simulating land-use decision-making behavior of farmer households[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 29(14): 227-237.]
- 陈海, 梁小英, 高海东, 等. 2008. Multi-Agent System模型在土地利用/覆盖变化中的研究进展[J]. 自然资源学报, 23(2): 345-352. [Chen H, Liang X Y, Gao H D, et al. 2008. A review on Multi-Agent System for the simulation of land-use and land-cover change[J]. Journal of Natural Resources, 23(2): 345-352.]
- 陈海, 梁小英, 王国义, 等. 2014. 基于过程的农户土地利用行为模型的设计与模拟研究[J]. 自然资源学报, 29(6): 1076-1089. [Chen H, Liang X Y, Wang G Y, et al. 2014. A process-based decision-making model and its application for farm households' learning behavior responding to environmental changes[J]. Journal of Natural Resources, 29(6): 1076-1089.]
- 陈海, 王涛, 梁小英, 等. 2009. 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, 64(12): 1448-1456. [Chen H, Wang T, Liang X Y, et al. 2009. 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, 64(12): 1448-1456.]
- 陈姗姗, 陈海, 梁小英, 等. 2012. 农户有限理性土地利用行为决策影响因素: 以陕西省米脂县高西沟村为例[J]. 自然资源学报, 27(8): 1286-1295. [Chen S S, Chen H, Liang X Y, et al. 2012. Effect of the household bounded rationality decision-making about land use behavior: A case study for Gaoxigou Village of Mizhi County in Shaanxi Province [J]. Journal of Natural Resources, 27(8): 1286-1295.]
- 杜守帅, 宋婷, 马兴波. 2011. 多智能体模拟在土地变化预测中的应用[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 39(10): 1510-1516. [Du S S, Song T, Ma X B. 2011. Application of multi-agent simulation in land change prediction[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 39(10): 1510-1516.]
- 梁小英, 刘俊新. 2010. 农户土地利用决策对农业景观格局的影响研究: 以陕西省米脂县孟岔村为例[J]. 自然资源学报, 25(9): 1489-1495. [Liang X Y, Liu J X. 2010. The study on the effect of the household decision-making to the agriculture landscape pattern: A case study for Mengcha Village of Mizhi County in Shaanxi Province[J]. Journal of Natural Resources, 25(9): 1489-1495.]
- 宋长青, 冷疏影. 2005. 21世纪中国地理学综合研究的主要领域[J]. 地理学报, 60(4): 546-552. [Song C Q, Leng S Y. 2005. Some important scientific problems of integrative study of Chinese geography in 5 to 10 years[J]. Acta Geographica Sinica, 60(4): 546-552.]
- 吴文斌, 杨鹏, 柴崎亮介, 等. 2007. 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, 27(4): 573-578. [Wu W B, Yang P, Shibasaki R, et al. 2007. Agent-based model for land-use/cover change: A review[J]. Scientia Geographica Sinica, 27(4): 573-578.]
- 郝静. 2009. 退耕还林政策影响下区域土地利用/覆被变化微观行为机制研究[D]. 西安: 西北大学. [Xi J. 2009. Study on micro behaviour mechanism of regional land use and land cover change influenced by grain for green policy[D]. Xi'an, China: Northwest University.]
- 张佰林, 蔡为民, 张凤荣, 等. 2016. 中国农村居民点用地微观尺度研究进展及展望[J]. 地理科学进展, 35(9): 1049-1061. [Zhang B L, Cai W M, Zhang F R, et al. 2016. Progress and prospects of micro-scale research on rural residential land in China[J]. Progress in Geography, 35(9): 1049-1061.]
- 张保华, 谷艳芳, 丁圣彦, 等. 2007. 农业景观格局演变及其生态效应研究进展[J]. 地理科学进展, 26(1): 114-122. [Zhang B H, Gu Y F, Ding S Y, et al. 2007. Research development on driving factors and ecological effects of agriculture landscape pattern change[J]. Progress in Geography, 26(1): 114-122.]
- 张小林, 盛明. 2002. 中国乡村地理学研究的重新定向[J]. 人文地理, 17(1): 81-84. [Zhang X L, Sheng M. 2002. The re-orientation of rural geography in China[J]. Human Geography, 17(1): 81-84.]
- 张云鹏, 孙燕. 2013. 基于Multi-Agent系统的土地利用情景模拟[J]. 南京工业大学学报: 自然科学版, 35(3): 75-81. [Zhang Y P, Sun Y. 2013. Scenario simulation of land use based on Multi-Agent System[J]. Journal of Nanjing University of Technology: Natural Science Edition, 35(3): 75-81.]
- Balke T, Gilbert N. 2014. How do agents make decisions? A survey[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 17(4): 13.

- Costanza R, Ruth M. 1998. Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus[J]. *Environmental Management*, 22(2): 183-195.
- Feitosa F F, Le Q B, Vlek P L G. 2011. Multi-Agent Simulator For Urban Segregation (MASUS): A tool to explore alternatives for promoting inclusive cities[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(2): 104-115.
- Filatova T, Voinov A, van der Veen A. 2011. Land market mechanisms for preservation of space for coastal ecosystems: An agent-based analysis[J]. *Environmental Modelling & Software*, 26(2): 179-190.
- Le Q B, Park S J, Vlek P L G, et al. 2008. 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*, 3(2): 135-153.
- Mena C F, Walsh S J, Frizzelle B G, et al. 2011. Land use change on household farms in the Ecuadorian Amazon: Design and implementation of an agent-based model[J]. *Applied Geography*, 31(1): 210-222.

## Simulation of households' planting behavior based on a CR-BDI model: Case study of Jiangxingzhuang Village of Mizhi County in Shaanxi Province

WANG Yanni, CHEN Hai\*, SONG Shixiong, MEI Yajun, WEN Xin

(Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China)

**Abstract:** At present, the research of agent-based modeling (ABM), which considers farming households' bounded rational behavior and uses simulation platform to simulate farming households' land use behavior, has become a focus of land use and land cover change simulation. Based on the beliefs-desires-intention (BDI) model, this study constructed a bounded rationality-resources (CR-BDI) model. A case study was conducted for Jiangxingzhuang Village of Mizhi County in Shaanxi Province. To verify the effectiveness of the CR-BDI model, a comparison between CR-BDI and BDI modeling results was performed. A number of observations and conclusions can be drawn: (1) Compared to the BDI model, a more realistic representation of farming households' decision-making process was provided by the CR-BDI model. The simulation accuracy of the CR-BDI model of 2014 is 93.22%, 8.48% higher than that of the traditional BDI model. The spatial distribution accuracy of the CR-BDI model output is 10.1% higher than that of the traditional BDI model. The simulated results of all crops (except scallion) in the CR-BDI model were of higher accuracy than in the BDI model. In 2015, the spatial accuracy of the CR-BDI model output is 78.8%, 9.6% higher than that of the traditional BDI model. (2) The indicator of CR is suitable for reflecting the bounded rationality of farming households, and matches the actual planting decision of farming households better. (3) The NetLogo platform is useful for representing farming households' land use behavior and provides a new way to research land use and land cover change.

**Key words:** household behaviors; land use; planting; bounded rationality; NetLogo platform; simulation; CR-BDI model; Jiangxingzhuang Village of Mizhi County in Shaanxi Province