

文章编号: 1001-1595(2011)03-0366-07

基于多智能体的农地非农化时空模拟与规划模型

张鸿辉^{1,2,3}, 曾永年^{1,2}, 谭荣⁴

1. 中南大学 信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 中南大学 空间信息技术与可持续发展研究中心, 湖南 长沙 410083; 3. 长沙市规划信息服务中心, 湖南 长沙 410013; 4. 浙江大学 公共管理学院, 浙江 杭州 310028

A Spatio-temporal Simulation and Planning Model for Farmland Conversion Based on Multi-agent Systems

ZHANG Honghui^{1,2,3}, ZENG Yongnian^{1,2}, TAN Rong⁴

1. School of Information Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Research Center of Space Information Technique and Sustainable Development, Central South University, Changsha 410083, China; 3. Changsha Planning Information Service Center, Changsha 410013, China; 4. School of Public Administration, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China

Abstract: Following the principles of maximal spatial and temporal planning efficiency as well as sustainable development, a spatio-temporal simulation and planning model for farmland conversion is developed with integration of multi-agent system and resource economics theory. The proposed model, which consists of some related components, i. e., external environment, multi-agent system, decision-making framework, can explicitly represent agents' spatio-temporal decision-making behaviors and rules during the process of farmland conversion, simulate the developmental tendency of farmland conversion under different planning guidelines and provide auxiliary decision-making support for farmland resources planning. The proposed model is applied to the simulation and planning of farmland conversion in the core areas of Changsha, Zhuzhou, Xiangtan city cluster in 2006—2020, which is the national comprehensive reforms test areas of building resource-saving and environment-friendliness society in China. The simulation results and the analysis of ecosystem service loss under different planning guidelines show that the model is able to provide a spatial exploratory tool for spatio-temporal planning of farmland conversion.

Key words: multi-agent systems; farmland conversion; land use; spatio-temporal simulation and planning

摘要: 遵循时间与空间规划效率最大化和可持续发展准则, 基于多智能体系统和资源经济学理论构建农地非农化时空模拟与规划模型(STSPFCM)。该模型由外部环境、多智能体系统、决策框架组成, 可实现影响农地非农化过程的智能体决策规则的时间与空间“显性”表达, 模拟不同农地非农化规划准则下的农地非农化发展趋势, 实现农地非农化的时空规划。以长沙、株洲、湘潭城市群的核心区域——长沙市为试验区, 利用STSPFCM对2006—2020年长沙市农地非农化进行了时空模拟与规划。结果表明: STSPFCM能够为农地非农化时空规划提供辅助决策支持。

关键词: 多智能体系统; 农地非农化; 土地利用; 时空模拟与规划

中图分类号: P208

文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金(40771198; 70903057); 湖南省自然科学基金(08JJ6023)

1 引言

农地非农化, 即农地资源流转为非农建设用地, 是全球经济发展过程中不可避免的趋势^[1-3]。对于中国这样一个农地资源相对贫乏、正处于城市化加速发展阶段的大国, 农地非农化进程与国家粮食安全、生态安全、土地资源可持续利用有着密切的关系。为此, 农地非农化的时空模拟与规划对土地资源的有效利用与管理均具有极其重要

的意义。

已有的土地利用/土地覆盖变化(LUCC)模型、城市增长模拟模型, 虽然能够模拟与预测农地的空间格局, 但不能解释引起农地非农化流转的各种智能体之间的作用机制。同时, 由于缺乏时间与空间规划效率的考虑, 该类模型不能对农地非农化进行合理的时空模拟与规划^[4-11]。因此, 亟须建立一个遵循时间与空间规划效率原则、能解释引起农地非农化流转的各类智能体之间相关

关系的农地非农化时空模拟与规划模型。

多智能体系统(multiragent system, MAS)是复杂适应系统理论、人工生命以及分布式人工智能技术的融合,其“自下而上”的研究思路、强大的复杂计算功能和时空动态特征使其在模拟空间复杂系统的时空动态方面具有非常突出的优势^[12],并在LUCC研究领域已经得到了诸多成功的应用^[4,5,8,11]。相对于经验统计、系统动力学、元胞自动机(CA)等模型,多智能体系统将宏观现象与微观决策相结合,能从智能体(Agent)之间相互作用的关系来理解LUCC的机理^[8]。鉴于多智能体系统在LUCC研究方面的优势,本研究通过探讨智能体与外部环境间的作用和反馈关系、智能体之间的互动关系及农地非农化决策等问题,在多智能体决策框架基础上,耦合资源经济学模型,发展了农地非农化时空模拟与规划模型(spatio-temporal simulation and planning of farmland conversion model, STSPFCM)。以全国“资源节约”与“环境友好”型社会建设综合配套改革试验区长沙、株洲、湘潭城市群的核心区域——长沙市为试验区,实现了农地非农化时空模拟与规划。

2 农地非农化时空模拟与规划模型(STSPFCM)

2.1 模型概述

农地非农化时空模拟与规划模型(STSPFCM)由外部环境、多智能体系统、决策框架组成。其中,外部环境包括土地利用、土壤、地价、交通、公共设施等空间信息;多智能体系统包括宏观智能体与微观智能体两大类,宏观智能体以政府为代表,而微观智能体则包括居民、农民、工业企业等,两类智能体之间存在互动关系;决策框架为模型的核心部分,智能体的决策规则与属性均在该框架中设定。模型中假设已有的非农建设用地不再发生变化。

2.2 多智能体决策框架构建

2.2.1 宏观智能体及其决策行为

2.2.1.1 政府智能体规划农地资源的空间准则

不同空间的资源利用边际效益相等是资源最优规划的唯一原则,即只要满足了不同地域对资源利用的边际效益相等,就可以保证整体的资源利用效益的最大化,亦即达到空间规划效率最优^[13]。因此,现阶段政府对农地非农化的空间规

划也应遵循这个原则,只有保证各子区域农地非农化的边际效益相等,才能满足区域农地非农化的空间规划效率最大化,如

$$MR_j = MR_{j+1} = MR_{j+2} \quad (1)$$

式中, MR_j 表示的是第 j 地区的农地非农化边际净收益; MR_{j+1} 表示的是第 $j+1$ 地区的农地非农化边际净收益;依此类推。农地非农化的边际净收益测算的具体公式参见文献[1]。在区域总农地非农化指标约束下,令不同子区域农地非农化边际净效益相等,可以得到符合空间规划效率的各地区农地非农化数量。

为了实现农地非农化空间规划效率最大化,政府规划农地资源还应符合可持续发展的准则,即既要满足城市发展需要,又要保护优质农用地^[11]。首先通过土地资源适宜性评价获得农地单元的农地适宜性以及非农地适宜性的评价结果,然后根据该单元的农地发展概率(P_A)和非农地发展概率(P_U),采用线性分割的办法定义农地非农化流转概率为

$$P_C = P_U / (P_U + P_A) \quad (2)$$

式中, P_C 为农地非农化流转概率,某一农地单元的农地非农化流转概率越大,被政府规划为非农地的概率也就越高。

2.2.1.2 政府智能体规划农地资源的时间准则

政府规划农地资源不仅应做到使其在空间分布上位置最佳,同时应使得将来各时段用地数量最优,亦即符合时间规划效率准则。文献[11]建立了下面的农地资源时序分配方程

$$(a - bq_t / P_w - c) / (1 + r)^{(t-1)} - \lambda = 0 \quad t = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$Q - \sum_{t=1}^n q_t = 0 \quad (4)$$

式中, P_{ta} 是 t 时期新增的人口; Q 是所供给的农地非农化指标总量; q_t 是 t 时期可供应的农地非农化指标; a 是边际收益曲线的截距; b 是边际收益曲线的斜率; c 为边际费用的常数; r 是贴现率; t 是时间; λ 是极值公式的常数。

2.2.2 微观智能体及其决策行为

微观智能体包括居民、工业企业、农民,在本文中,居民智能体是指在城市工作且具有迁居需求的智能体,工业企业智能体是指从事工业生产经营活动且具有迁移工业经营场地需求的智能体,农民智能体是指拥有农地使用权且主要从事农业生产经营活动的智能体。

2.2.2.1 居民智能体的决策规则

居民智能体具有迁移、消亡和繁衍新居民等行为,具有教育程度 E 、财产 W 、收入 S 、支出 P 、年龄 A 和工作地点与居住地的距离 L 等属性。

第 i 个居民智能体的迁移概率 Q 的计算方法为

$$Q = a_1 e^{|S_{ni} - S_{xy}|} + a_2 e^{(1 - E_{ni})} + a_3 e^{(1 - RD)} + a_4 e^{ID} + a_5 e^{L_{x,y}} + a_6 e^{H_{x,y}} + a_7 e^{1 - E_{x,y}} + a_8 e^{1 - T_{x,y}} + a_9 e^{1 - F_{x,y}} + \mu_{xy} \quad (5)$$

式中, S_{xy} 为第 i 个居民智能体的财产; S_{ni} 和 E_{ni} 分别为第 i 个居民智能体所在的邻域中居民智能体的平均财产和与其有相同教育程度的居民智能体的比例; RD 和 ID 表示第 i 个居民智能体所在单元 (x, y) 的居民智能体密度和工业企业智能体密度; $L_{x,y}$ 为经标准化后的第 i 个居民智能体所在单元 (x, y) 距工作地点的距离; $H_{x,y}$ 、 $E_{x,y}$ 、 $T_{x,y}$ 、 $F_{x,y}$ 分别为经标准化后的第 i 个居民智能体所在单元 (x, y) 的房价、环境舒适度、交通通达度、公共设施便利性; $a_i (i = 1, 2, \dots, 9)$ 为其偏好权重,

并且 $\sum_{i=1}^9 a_i = 1$; μ_{xy} 为效用方程的随机扰动项。在模型中,居民智能体可以在自己的空间可达范围内随机选取若干适合的单元,首先取得第 i 个居民智能体拟迁移的单元集合 E_0 ,判断对于 E_0 中每个元素,在 $t = 0$ 时,第 i 个居民智能体的 W 值 ($W = S - P$) 是否满足

$$W > \beta V_H \quad (6)$$

在 $t > 0$ 时,第 i 个居民智能体的 W 值是否满足

$$S - P > \beta (V_H - V_{xy}) \quad (7)$$

式(6)和(7)中, V_{xy} 、 V_H 分别表示经标准化后的第 i 个居民智能体当前居住单元及拟迁移单元的房价; β 为常数;其他参数意义同上。由此得到可供选择的迁移单元集合 E ,然后根据式(5)计算第 i 个居民智能体对 E 中每个单元的迁移满意度 Q ,取满意度值最大的单元为第 i 个居民智能体的迁移地点 H 。因此,在 t 时刻,单元 (x, y) 被第 i 个居民智能体选择作为居住用地的概率为

$${}^i P_{x,y}^R = \frac{\exp(\mu Q_{x,y})}{\sum_m \exp(\mu Q_{x,y})} \quad (8)$$

式中, m 为第 i 个居民智能体拟申请作为居住用地的农地单元的总个数, $\sum_m \exp(\mu Q_{x,y})$ 为候选位置迁移满意度之和,而 μ 为离散参数。

居民智能体从模型中消亡的条件为 $W < 0$;当居民智能体的年龄 A 和财产 W 高于模型中设

定的年龄和财产临界值时,繁衍出新的居民行为体。

2.2.2.2 工业企业智能体的决策规则

模型中的工业企业具备规模 D 、资产 U 、消耗 P 等属性,第 i 个工业企业智能体的迁移概率 R 的计算方法为

$$R = a_1 e^{|U_{ni} - U_{xy}|} + a_2 e^{(1 - ID)} + a_3 e^{RD} + a_4 e^{S_{x,y}} + a_5 e^{L_{x,y}} + a_6 e^{1 - E_{x,y}} + a_7 e^{1 - P_{x,y}} + a_8 e^{1 - T_{x,y}} + a_9 e^{1 - I_{x,y}} + \mu_{xy} \quad (9)$$

式中, U_{ni} 和 U_{xy} 分别为第 i 个工业企业智能体所在单元 (x, y) 的邻居中工业企业智能体的平均资产和其自身的当前资产; ID 、 RD 分别表示第 i 个工业企业智能体所在单元 (x, y) 的邻域工业企业智能体、居民智能体的密度; $S_{x,y}$ 、 $L_{x,y}$ 、 $E_{x,y}$ 、 $P_{x,y}$ 、 $T_{x,y}$ 、 $I_{x,y}$ 分别为经标准化后的第 i 个工业企业智能体所在单元 (x, y) 的坡度、土地价值、环境价值、规划完备度、交通通达度、产业聚集度。

与居民智能体的迁移行为相同,第 i 个工业企业智能体首先通过局部空间搜索取得其拟迁移的单元集合 E_0 ,判断对于 E_0 中每个元素,在 $t = 0$ 时,第 i 个工业企业智能体的 U 值是否满足

$$U > \beta L_H \quad (10)$$

在 $t > 0$ 时,第 i 个企业智能体的 U 值是否满足

$$U - P > \beta (L_H - L_{xy}) \quad (11)$$

式(10)和(11)中, L_{xy} 和 L_H 分别表示经标准化后的第 i 个企业智能体当前所在单元和拟迁移单元的地价, β 为常数,其他参数意义同上,由此得到可供选择的迁移单元集合 E ,然后根据式(9)计算第 i 个工业企业智能体对 E 中每个单元的迁移满意度 R ,取满意度值最大的单元为第 i 个工业企业智能体的迁移地点 H [14]。在 t 时刻,单元 (x, y) 被第 i 个工业企业智能体选择作为工业用地的概率的计算方法同式(11)。当 $U < 0.5U_0$ (U_0 为企业智能体在 $t = 0$ 时刻的资产)时,企业智能体因为竞争造成的经济问题而从模型中消亡。

2.2.2.3 农民智能体的决策规则

在农地非农化过程中,农民智能体的行为具有一定的两面性,一方面农民智能体希望所居住的区域临近城镇,以使生活更加便利,另一方面农民智能体也不希望散失自己赖以生存的农业用地。农民智能体具有规模 D 、收入 S 、支出 P 等属性,当其收入 S 低于支出 P 时,将从模型中消亡。选择地块坡度、坡向,土壤生产力、价格作为地块

微观特征变量, 选择距城镇中心距离、距行政中心距离、距铁路距离、距城市道路距离、距高速公路距离作为地块区位特征变量, 选择是否在基本农田保护区内、是否在城市规划区范围内、允许开发密度作为地块规划限制变量, 选择农业保护用地邻域密度、建设用地邻域密度等作为邻域变量, 选择乡镇人口密度、乡镇工农业产值密度作为社会经济统计变量。这些变量共同影响农民智能体在农地非农化过程中的决策, 借助逻辑回归模型可得到各变量的影响程度。

2.2.3 宏观智能体与微观智能体互动分析

在农地非农化决策过程中, 宏观智能体与微观智能体之间的行为是相互影响的, 当微观智能体 j 所搜索的拟选土地利用单元集中被宏观智能体(政府)批准为非农建设用地的机会越多, 微观智能体对所申请的土地利用单元 (x, y) 的农地非农化期望概率也越大, 反之, 则越小。该过程可表示为

$$new P_{x,y}^j = \begin{cases} origin P_{x,y}^j (1 + f_{j,x,y}) & \Delta s > 0 \\ origin P_{x,y}^j & \Delta s = 0 \\ origin P_{x,y}^j (1 - f_{j,x,y}) & \Delta s < 0 \end{cases} \quad (12)$$

$origin P_{x,y}^j$ 为微观智能体 j 对单元 (x, y) 的初始的农地非农化期望概率, 智能体类型不同, 其求取公式不同, 具体计算方法参见本文 2.2.2 中不同类型微观智能体的农地非农化期望概率的求取公式; $new P_{x,y}^j$ 为微观智能体 j 在考虑宏观智能体的农地资源规划结果后对单元 (x, y) 所期望的非农化概率; $f_{j,x,y}$ 为调整参数; Δs 为微观智能体 j 在申请过程中对宏观智能体所实施的农地资源规划结果的满意度。

对于研究区域内的某一农地单元 (x, y) , 如果它被微观智能体申请作为非农地的次数越多, 则宏观智能体在决策过程中, 接受其被转化为非农地的概率也越高。其表达式为

$$P_{x,y}^* = P_{x,y} + \Delta p \cdot n \quad (13)$$

式中, $P_{x,y}$ 宏观智能体经过决策后规划土地利用单元 (x, y) 为非农地的初始概率, 其计算方法同式(2); $P_{x,y}^*$ 为考虑了微观智能体影响的宏观智能体的决策概率; n 为单元 (x, y) 被微观智能体申请为非农地的次数; Δp 为单元 (x, y) 每被申请一次, 宏观智能体所增加的接受其被转化为非农地的概率。

2.2.4 农地非农化多智能体综合决策

就某个农地单元而言, 其非农化是在宏观智

能与微观智能体的共同作用下实现的, 采用加权求和模型, 该土地利用单元在二者影响下的非农化概率可表示为

$$P = (\theta C_{x,y}^{Macro} + (1 - \theta) C_{x,y}^{Micro}) \quad \forall \theta \in [0, 1] \quad (14)$$

式中, θ 为权重参数; P 表示农地单元 (x, y) 在宏观智能体与微观智能体的共同作用下的农地非农化概率; $C_{x,y}^{Macro}$ 表示农地单元 (x, y) 在宏观智能体作用下的非农化概率, 其意义同式(13)中的 $P_{x,y}^*$; $C_{x,y}^{Micro}$ 是在三种微观智能体共同作用下的农地非农化概率, 借鉴离散选择模型, 得到其求取公式为

$$C_{x,y}^{Micro} = \sum_{j=1}^L w_j P_{x,y}^j \quad (15)$$

式中, j 为微观智能体编号; L 为微观智能体个数, 在本文中 $L = 3$, 即居民、工业企业、农民; $P_{x,y}^j$ 为微观智能体 j 对单元 (x, y) 的农地非农化期望概率, 其意义同式(12)中的 $new P_{x,y}^j$; w_j 为微观智能体 j 所占的权重。在模型中, P 值的高低决定了农地单元非农化的顺序。

3 模型应用

3.1 试验区及数据

本研究以全国“资源节约”与“环境友好”型社会建设综合配套改革试验区长沙、株洲、湘潭城市群的核心区域——长沙市区为试验区, 所使用的数据包括遥感数据、GIS 数据、社会经济统计数据等多种数据。遥感数据包括 1993、1996、1999、2002、2005 年长沙市区 TM 数据; GIS 数据包括土地利用、交通、土壤、基准地价以及数字高程模型等; 社会经济统计数据包括楼盘价格、工农业产值、居民与农民收入以及第五次人口普查数据。

3.2 2006—2020 年长沙市农地非农化指标需求预测

以 2005 年土地利用现状数据为依据, 长沙市区总面积为 556.33 km², 非农建设用地总面积为 254.61 km², 占研究区总面积的 45.77%, 未利用地面积 41.03 km², 农地面积 260.69 km²。根据历史土地利用数据进行预测, 到 2020 年, 非农建设用地的数量达到 417.25 km², 因而确定 2006—2020 年长沙市农地非农化指标总量为 162.64 km², 依据式(3)和(4)进行分配得到 2006—2010、2011—2015、2016—2020 三个时间段的农地非农化指标分别为 45.56 km²、53.73 km²、63.35 km²。依据长沙市行政区划将研究区分为五个子区域, 分别

为芙蓉区、天心区、雨花区、开福区、岳麓区。在 2006—2020 年长沙市农地非农化指标总量约束下,令五个子区域的农地非农化边际净收益相等,参考文献 [1] 的计算方法,可得 2006—2020 年芙蓉区、天心区、雨花区、开福区、岳麓区等五个子区域的农地非农化指标分别为 19.52 km²、32.31 km²、26.91 km²、48.49 km²、35.41 km²。

3.3 农地非农化时空演化格局模拟

由于现实中尚无现成的农地非农化时间与空间规划政策可用,需要设计不同的农地非农化规划准则,并把各种规划准则输入到模型中,来模拟这些准则对农地非农化时空演化格局的影响。因此,设定如下三种规划准则模拟长沙市农地非农化时空演化格局。

规划准则 I: 假设农地保护强度与模拟基准期类似,政府在分配农地非农化指标过程中不考虑时间与空间规划效率最大化准则,继续维持既有的农地非农化趋势和强度。

规划准则 II: 在既往农地保护政策基础上,要求在保护农地的同时,保证高新技术开发区、环保产业园区、生态新城、大河西先导区等为区域经济增长贡献份额较大的园区的用地需求,政府在分配农地非农化指标过程中不考虑时间与空间规划效率最大化准则。

规划准则 III: 在既往农地保护政策基础上,将农地的整体保护程度提高 5%,政府遵循时间与空间规划效率最大化准则和可持续准则分配农地非农化指标。

在这三种规划准则下的 2006—2020 年长沙市农地非农化时空演化格局如图 1 所示。

为了便于比较图 1 中不同准则下、不同年份的农地非农化格局的差异,选择覆盖研究区东、西、南、北四个方向的七处位置(A、B、C、D、E、F、G)代表农地非农化变化区域,其中 C、D、F、G 所在区域分别代表高新技术开发区、大河西先导区、天心生态新城、雨花环保产业园区。从图中可看出:

在规划准则 I 中,在模拟期限内,总体而言,农地非农化将延续现有趋势,非农建设用地沿现有的建设用地大面积向城市外围无序扩张,农地持续被非农化,其中 A、B、D、G 这四处区域农地非农化发展趋势最为明显,这主要是由于在该种准则下,农地非农化将延续既有的趋势与强度,且政府不遵循时空效率最大化准则,因而农地非农

化主要发生在城市北部、东南、西部等农地资源较为丰富且离城市较近的区域,这与目前的长沙市农地非农化发展趋势是一致的。

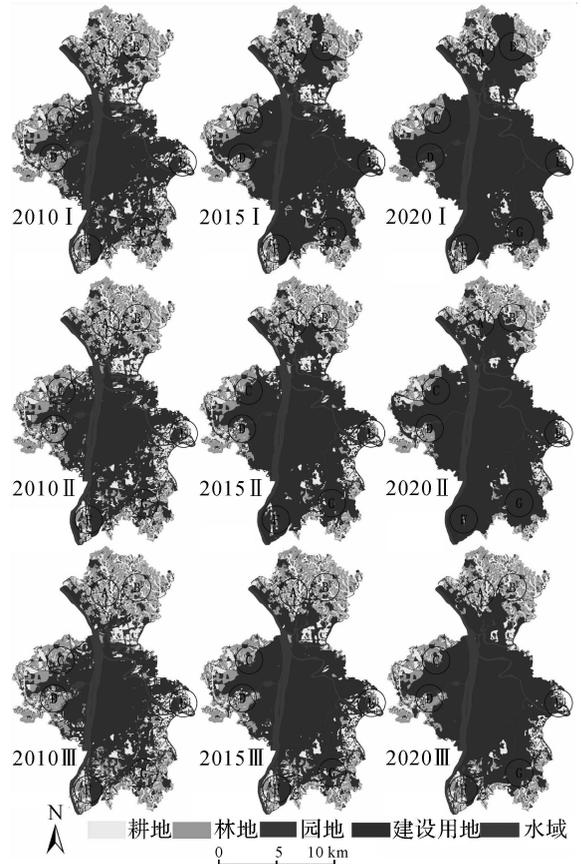


图 1 不同规划准则下 2006—2020 年长沙市农地非农化时空演化格局模拟

Fig. 1 Simulation results of spatio-temporal planning for farmland conversion under different planning guidelines in Changsha from 2006 to 2020

在规划准则 II 中,由于高新技术开发区、雨花环保产业园区、天心生态新城、大河西先导区等园区的用地需求得以充分满足,这些园区(C、D、F、G 区域)及其周边范围内的非农建设用地得以大规模扩张,而 A、B 区域代表的北部和 E 区域代表的东部没有用地需求较大的园区,农地非农化趋势相对趋缓。

在规划准则 III 中,由于受到时间与空间规划效率最大化准则和提高农地整体保护程度的双重约束,农地非农化虽然保持继续发展的趋势,但是相比前两种准则,其发展趋势得到了较好地控制,尤其是 A、B、F 所在的北部和西南部控制较好。

综合三种规划准则下的 2010、2015、2020 年农地非农化格局还可看出, E 区域代表的东部在

三种准则下的农地非农化均没其他区域明显, 而 G 区域代表的东南部在三种准则下农地非农化趋势均较为明显, 这主要是由于东部本身城市化程度较高, 可供城市发展的农地资源较少, 而东南部地形和交通条件较其他区域(A、B、C、D、F)好且农地资源相对较为丰富。

各种准则方案下的农地损失面积见表 1, 为了进一步衡量不同规划准则下的农地非农化规划效率, 采用农地资源的生态系统服务功能价值损失衡量不同规划准则的合理性^[15]。各种规划准则下 2006—2020 年长沙市农地非农化流转过程所导致的生态系统服务功能价值损失结果如表 2 所示。

表 1 各农地非农化规划准则下的农地数量损失

Tab. 1 The amount of farmland loss under different planning guidelines km²

	耕地损失	园地损失	林地损失	水域损失	总计
准则 I	92.93	9.44	77.16	20.19	199.72
准则 II	84.45	7.08	74.38	20.41	186.32
准则 III	79.58	3.68	59.16	20.22	162.64

表 2 不同规划准则下 2006—2020 年农地非农化流转生态系统服务价值损失值预测

Tab. 2 The prediction of ecosystem service loss value under different planning guidelines from 2006 to 2020 万元

	耕地	园地	林地	水域	总计
准则 I	5 682.02	577.19	14 918.11	8 212.57	29 389.89
准则 II	5 163.53	432.89	14 380.63	8 302.05	28 279.10
准则 III	4 865.76	225.01	11 437.99	8 224.77	24 753.53

从表 2 可看出, I、II、III 三种准则中, 生态系统服务功能损失总量由大到小依次为: 准则 I、准则 II、准则 III, 这说明遵循时间与空间规划效率最大化准则和提高农地整体保护度的准则 II 的农地非农化规划效率优于沿袭现实发展趋势的准则 I 和侧重发展经济的准则 II; 准则 I 的生态系统服务功能损失价值总量最大, 这说明现有的农地保护政策亟待加强, 如果按照现有趋势发展下去, 长沙市的农地非农化趋势将进一步急剧增强, 长此以往, 区域内的生态安全与粮食安全将受到严重影响; 准则 II 中, 为了发展经济, 充分满足了工业园区的用地需求, 这种情景下的生态系统服务功能损失总量仅次于准则 I, 这说明通过牺牲农地数量换取地方经济发展是一种不可取的、非可

持续的土地开发政策。

4 结论与讨论

本研究通过耦合多智能体系统和资源经济学模型, 定义了宏观智能体与微观智能体的决策规则、互动关系模型及多智能体综合决策规则, 实现了各类智能体在农地非农化流转过程中决策行为的时间和空间“显性”表达, 开发了农地非农化时空模拟与规划模型(STSPFCM), 并完成了长沙市农地非农化时空演化模拟与规划, 为合理分配农地非农化指标提供了有意义的决策支持与依据。

虽然本文取得了一些研究成果, 但是本文所构建的模型仍有几方面内容值得深入讨论: ①如何在有限理性决策框架下建立智能体的农地非农化决策规则; ②如何完善引起农地非农化的多智能体系统以及正确表达其决策规则。

参考文献:

- [1] TAN Rong, QU Futian. Land Conversion and Protection of Farmland Resources in China[J]. Management World, 2006(12): 50-59. (谭荣, 曲福田. 中国农地非农化与农地资源保护: 从两难到双赢[J]. 管理世界, 2006(12): 50-59.)
- [2] BURGRIJT T. The Dynamics of Tenure Security, Agricultural Production and Environmental Degradation in Africa: Evidence from Stakeholders in North east Ghana[J]. Land Use Policy, 2008, 25(2): 271-285.
- [3] FAZAL S. The Need for Preserving Farmland: a Case Study from a Predominantly Agrarian Economy (India) [J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 55(1): 1-13.
- [4] LIU Xiaoping, LI Xia, YEH A G O, et al. Multi agent Systems for Simulating Spatial Decision Behaviors and Land Use Dynamics[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2006, 36(11): 1027-1036. (刘小平, 黎夏, 叶嘉安, 等. 基于多智能体系统的空间决策行为及土地利用格局演变的模拟[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2006, 36(11): 1027-1036.)
- [5] 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. (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.)
- [6] LIU Xiaoping, LI Xia. Fisher Discriminant and Automatically Getting Transition Rule of CA[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(1): 112-118. (刘小平, 黎夏. Fisher 判别及自动获取元胞自动机的转换规则[J]. 测绘学报, 2007, 36(1): 112-118.)

- [7] ZHANG Xianfeng, CUI Weihong. Integrating GIS with Cellular Automata to Establish a New Approach for Spatiotemporal Process Simulation and Prediction [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(2): 148-155. (张显峰, 崔伟宏. 集成 GIS 和元胞自动机模型进行地理时空过程模拟与预测的新方法[J]. 测绘学报, 2001, 30(2): 148-155.)
- [8] MANSON S M. Land Use in the Southern Yucatan Peninsular Region of Mexico: Scenarios of Population and Institutional Change[J]. Computers, Environment, and Urban Systems, 2006, 30(3): 230-253.
- [9] LI Xia, YEH A G O, LIU Xiaoping, et al. Geographical Simulation System: Cellular Automata and Multiagent System[M]. Beijing: Science Press, 2007. (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.)
- [10] LI Xia, LIU Xiaoping. Embedding Sustainable Development Strategies in Agent-based Models for Use as a Planning Tool[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2008, 22(1): 21-45.
- [11] LI Xia, YEH A G O. Modeling Sustainable Urban Development by the Integration of Constrained Cellular Automata and GIS[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2000, 14(2): 131-152.
- [12] CHEBEANE H, ECHALIER F. Towards the Use of a Multiagents Event Based Design to Improve Reactivity of Production System[J]. Computers & Industrial Engineering, 1999, 37(1-2): 9-13.
- [13] PERMAN R, COMMON M, MCGILVRAJ J, et al. Natural Resource and Environmental Economics[M]. Edinburgh: Pearson Education Limited, 2002.
- [14] CAI Lin. Modeling and Simulation Research on Artificial Urban Space System[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007. (蔡琳. 人工城市空间系统建模与仿真研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.)
- [15] XIE Gaodi, LU Chunxia, LENG Yunfa, et al. Ecological Assets Valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189-195. (谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-195.)

(责任编辑: 雷秀丽)

收稿日期: 2009-10-21

修回日期: 2010-04-29

第一作者简介: 张鸿辉(1980—), 男, 博士生, 主要研究方向为遥感与地理信息系统应用研究、环境变化模拟研究等。

First author: ZHANG Honghui (1980—), male, PhD candidate, majors in remote sensing geo-analysis, GIS application, environmental changes and modeling.

E-mail: zhhgis@163.com

(上接第 350 页)

- [7] ZHOU Keqin, ZHAO Xu, DING Yanhui. The 3D Visualization's Approach Based on Laser Scanning[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2006, 23(1): 6-27. (周克勤, 赵煦, 丁延辉. 基于激光点云的 3 维可视化方法[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(1): 6-27.)
- [8] CHEN Yuan, CHEN Zhen, WEI Shuigen. Segmentation Method for Point Cloud Data Based on CCD Image[J]. Journal of Nanchang Institute of Aeronautical Technology (Natural Sciences Edition), 2007, 21(1): 40-42. (陈远, 陈震, 危水根. 基于 CCD 图像的点云区域分割方法[J]. 南昌航空工业学院学报: 自然科学版, 2007, 21(1): 40-42.)
- [9] ZHAN Jinhui, CHEN Zhen, WEI Shuigen. Edge Extraction of Point Data Based on CCD Image[J]. Shanxi Electronic Technology, 2008(3): 3-12. (湛金辉, 陈震, 危水根. 基于 CCD 图像的激光点云数据边界提取法[J]. 山西电子技术, 2008(3): 3-12.)
- [10] KANG Yongwei, ZHONG Ruofei, WU Yu. Research of Calibrating Vehicle Laser Scanner's External Parameters [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008(37): 250-253. (康永伟, 钟若飞, 吴侯. 车载激光扫描仪外参数标定方法研究[J]. 红外与激光工程, 2008(37): 250-253.)
- [11] YE Zetian, LIU Xianlin, ZHONG Ruofei, et al. Study of Vehicle Data Acquisition and Processing System Integrated with Multi-sensors [J]. China Science and Technology Achievements, 2008(12): 46-48. (叶泽田, 刘先林, 钟若飞, 等. 车载多传感器集成快速数据获取与处理系统研究[J]. 中国科技成果, 2008(12): 46-48.)
- [12] WANG Zhizhuo. Principles of Photogrammetry[M]. Wuhan: Publishing House of Wuhan University, 2007: 18-19. (王之卓. 摄影测量原理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007: 18-19.)

(责任编辑: 宋启凡)

收稿日期: 2010-02-01

修回日期: 2010-06-25

第一作者简介: 叶泽田(1963—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事摄影测量与遥感方面的研究工作。

First author: YE Zetian(1963—), male, PhD, professor, PhD supervisor, majors in photogrammetry and remote sensing.

E-mail: yezt@sina.com