

基于系统动力学模型和元胞自动机模型的土地利用情景模型研究*

何春阳 史培军 陈晋** 潘耀忠 李晓兵 李京 李月臣 李景刚

(北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要 综合自上而下的系统动力学模型和自下而上的元胞自动机模型, 从宏观用地总量需求和微观土地供给相平衡的角度, 充分利用系统动力学模型在情景模拟和宏观驱动因素反映上的优势与元胞自动机模型在微观土地利用空间格局反映上的优势, 发展了土地利用情景变化动力学 LUSD (Land Use Scenarios Dynamics model) 模型. 利用该模型对中国北方 13 省未来 20 年土地利用变化的情景模拟结果表明, 由于 LUSD 模型充分利用了系统动力学模型和元胞自动机模型的特点和优势, 同时考虑了土地利用系统宏观驱动因素复杂性和微观格局演化复杂性的特征, 因而提高了当前土地利用情景模型的可靠性, 这将在一定程度上为理解土地利用系统的复杂驱动行为, 评估脆弱生态区土地系统变化的潜在生态效应提供帮助. 同时, LUSD 模型的情景模拟结果也表明, 农牧交错带地区是中国北方未来 20 年土地利用变化比较明显的地区, 而耕地和城镇用地则是该区域内变化最为显著的两种用地类型.

关键词 系统动力学模型 元胞自动机模型 土地利用 情景模型

土地利用模型是分析土地利用原因、过程与结果, 认识土地利用系统生态环境效应, 支持土地利用规划和政策的有力工具^[1,2]. 选择典型地区, 发展土地利用情景模型, 预测不远将来不同情景下的土地利用时空变化格局, 考察和评估土地系统变化的现实和潜在生态环境影响和反馈过程, 已经被众多的研究者认为是揭示土地利用系统与陆地生态系统之间相互作用机制的有效途径之一^[3~10]. 目前, 已经可以

见到不少有价值的土地利用情景模型和相关的模拟研究工作^[11,12]. 但是, 区域土地利用变化受到不同尺度的自然和人文因素的综合作用, 土地利用变化过程的驱动和约束机制十分复杂, 具有复杂性特征^[13]. 如何充分反映土地利用系统变化的宏观驱动因素复杂性和微观格局演化过程复杂性特征, 提高区域土地利用情景模型的可靠性, 仍然是当前区域土地利用情景模型亟待解决的问题^[14,15]. 比如目前国际上

2004-06-29 收稿, 2005-01-24 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目(批准号: G2000018604, G1999043406-03)、北京师范大学青年教师基金(10770001)资助

** 联系人, E-mail: chenjin@irs.bnu.edu.cn

很有代表性的 CLUE(the Conversion of Land Use and its Effect: CLUE)模型,虽然具有较强的模拟不同尺度的土地利用情景格局的能力,但由于其在局部土地利用格局的演化分配上主要以统计和经验模型为基础,也难以充分反映土地利用微观格局演化的复杂性特征^[16]。又比如目前发展的大都市区城市扩展 CEM (City Expansion model in Metropolitan area: CEM)模型,虽然具有一定的反映土地利用微观格局演化复杂性特征的能力,但在土地利用宏观驱动因素复杂性的表现上仍然比较简单和薄弱^[17]。

系统动力学 SD(System Dynamics)模型是建立在控制论、系统论和信息论基础上研究反馈系统结构、功能和动态行为的一类模型,其突出特点是能够反映复杂系统结构、功能与动态行为之间的相互作用关系,对复杂系统进行动态仿真实验,从而考察复杂系统在不同情景(不同参数或不同策略因素)下的变化行为和趋势,提供决策支持^[18]。当前,国内外众多研究者的工作已经表明,系统动力学模型能够从宏观上反映土地系统的复杂行为,是进行土地系统情景模拟的良好工具^[19,20]。但总的看来,在典型区建立关键驱动因素反映未来发展情景,进行土地系统情景模拟,从而评估土地系统潜在生态效应的系统动力学模型还比较少见和缺乏。同时,作为一种自上而下的宏观数量模型,系统动力学模型在反映土地利用空间格局特征方面还存在明显不足^[21]。

元胞自动机模型具有强大的空间运算能力,可以有效地模拟复杂的动态系统^[22]。近年来,元胞自动机模型被越来越多地应用于城市增长、扩散和土地利用演化的模拟研究中并取得了许多有意义的研究成果,表明元胞自动机模型可以比较有效地反映土地利用微观格局演化的复杂性特征^[23~29]。但是,作为一种自下而上的模型方式,元胞自动机模型主要着眼于单元的局部相互作用,单元状态变化主要取决于自身和邻居单元的状态组合。尽管它可以在一定程度上反映土地利用系统的复杂行为,但对影响土地利用变化的社会、经济等宏观因素往往难以有效反映^[30]。而实际上,土地利用变化往往是不同尺度的自然和人文因素综合作用的结果,如何把自下而上的元胞自动机模型与其它空间模型,特别是经济学模

型相互耦合来进一步提高元胞自动机模型对土地利用复杂系统的表达能力,是当前基于元胞自动机模型的土地利用模型非常关注的问题^[30]。Theobald 等在 1994 年开始讨论了 GIS、元胞自动机模型和系统动力学模型结合的可能性^[31]。Wu 在近期的研究中,把微观元胞自动机模型和宏观经济学模型相联系,建立混合模型,来进行城市发展的过程研究,取得了较为满意的结果^[32]。White 等人也积极开展了这方面的研究,他们在最近的研究中正尝试把区域发展模型与元胞自动机模型相联系,来模拟城市和研究区域的整体发展^[33]。这种混合模型大大拓宽了元胞自动机模型的应用范围和模拟功能,正逐渐引起人们的重视。

鉴于上述研究背景,本文综合自上而下的系统动力学模型和自下而上的元胞自动机模型,充分利用系统动力学模型在情景模拟和宏观驱动因素反映上的优势与元胞自动机模型在微观土地利用空间格局反映上的优势,从宏观用地总量需求和微观土地供给相平衡的角度,在同时考虑土地利用系统宏观驱动因素复杂性和微观格局演化复杂性特征的基础上,首先发展了土地利用情景变化动力学 LUSD (Land Use Scenarios Dynamics model)模型。然后利用该模型,在相关研究的基础上^[34],对地域差异性和过渡性明显,生态环境相对比较脆弱的中国北方 13 省区域未来 20 年的土地利用情景变化过程进行了模拟。目的在于提高当前土地利用情景模型的可靠性,加强对土地利用系统和生态系统相互作用机制的理解和认识。

1 LUSD 模型

1.1 模型的基本思路

LUSD 模型的基本思路是在自下而上的元胞自动机模型和自上而下的系统动力学模型相结合的基础上,依据供求平衡原理,从宏观用地总量需求和微观土地供给相平衡的角度,开展土地利用模拟。具体的,该模型首先以系统动力学模型为基础,从社会经济系统中人口、经济(GDP)、市场调节(粮食自给率)、土地政策以及技术进步(粮食单产)五大因素驱动土地

需求的角度, 模拟未来不同发展情景下的土地总量需求, 然后以元胞自动机模型为基础, 结合 GIS 技术, 从满足局部土地利用继承性、适宜性和邻域影响的角度完成不同土地需求情景下的土地空间分配, 从而模拟出不同情景驱动下的土地利用空间情景格局(图 1).

1.2 模型的结构和功能

LUSD 模型包括两个子模型, 一是基于系统动力学模型的宏观土地利用情景需求子模型^[35]; 二是基于元胞自动机模型的微观土地供给分配子模型.

1.2.1 基于系统动力学模型的宏观土地利用情景需求子模型

系统动力学子模型的基本目标是模拟研究区域未来不同社会经济情景下土地利用总量需求变化. 尽管土地利用变化是自然和人文因素综合作用的结果, 但现有的研究表明, 在较短的时间尺度内, 人类活动对区域土地利用变化的影响往往居于主导地位^[13], 因此, 在该系统动力学模型中, 从简化模型的

需要出发, 我们首先假定人文因素变化是影响土地利用变化的唯一因素. 然后把模拟区域看成一个相对独立的区域系统, 主要进行两种系统状态下的模拟研究, 一是系统封闭状态, 在该状态下, 系统与外界不存在物质和能量交换, 系统粮食自给率为 1, 系统内部的粮食产品需求和供给将保持相对平衡; 二是系统开放状态, 在该状态下, 系统与外界存在物质和能量交换, 粮食自给率不等于 1, 系统内部的粮食产品需求和供给将不能保持平衡, 需要通过市场调节, 与外界进行粮食交换. 具体的, 该模型主要包括社会经济和土地利用两个子系统, 在国家宏观发展战略的背景下, 以社会经济子系统的人口、经济(GDP)、市场调节(粮食自给率)、土地政策以及技术进步(粮食单产)五大因素为基础, 以供求平衡为条件, 从而驱动土地利用子系统, 预测土地情景需求(图 2). 据此, 在分析了各子系统和各要素之间的相互作用关系, 建立模型因果作用关系结构的基础上, 利用 HPS(High Performance System)公司开发的图形界面

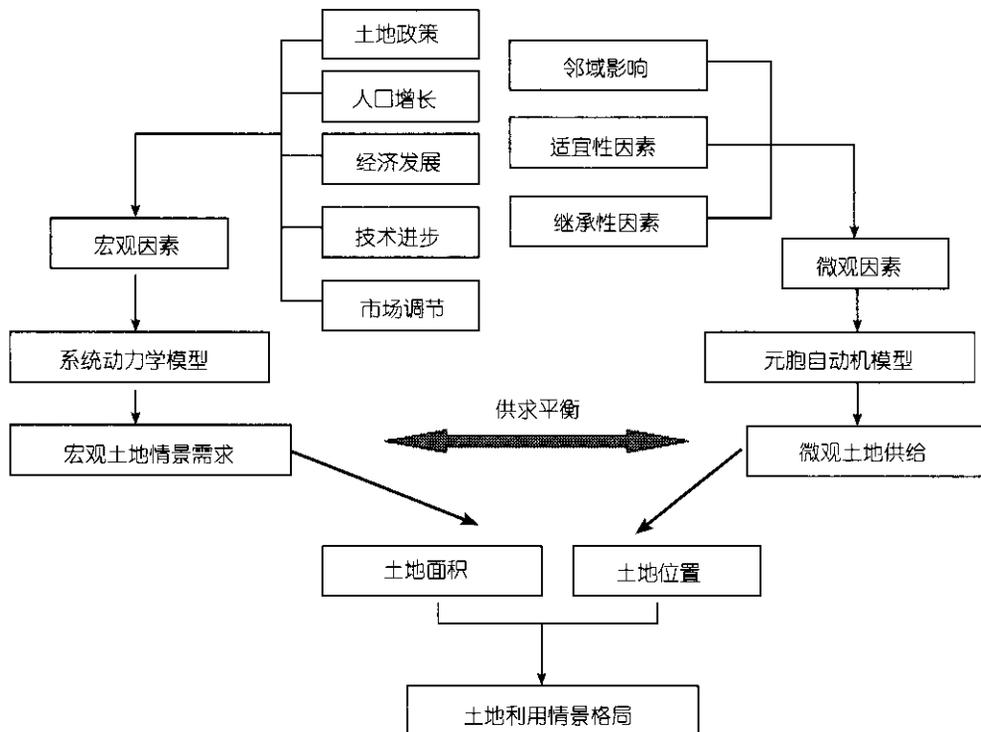


图 1 LUSD 模型基本框架

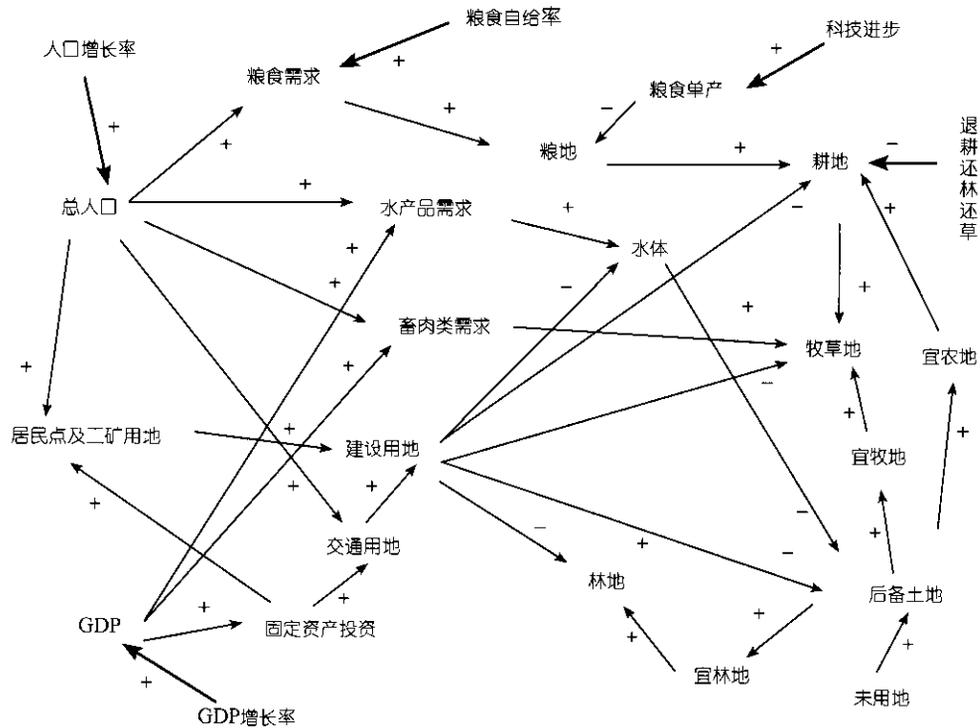


图 2 土地利用需求系统动力学模型结构

系统动力学仿真软件 Stella5.0 实现了整个子模型¹⁾。

1.2.2 基于元胞自动机模型的微观土地供给分配子模型

鉴于元胞自动机模型在模拟复杂系统时空动态演化方面的强大能力，参考相关工作^[36]，我们以元胞自动机模型为基础，结合 GIS 技术，从满足局部土地单元继承性、适宜性和周围土地单元约束影响的角度完成不同土地需求情景下的土地空间供给分配。具体的，单元 (x, y) 被某种土地利用类型 K 在时刻 t 占有的概率 ${}^tP_{K,x,y}$ 可以看成是单元 (x, y) 在时刻 t 对土地利用类型 K 的适宜性 ${}^tS_{K,x,y}$ ，周围土地单元对单元 (x, y) 在时刻 t 转化为土地利用类型 K 的影响 ${}^tN_{K,x,y}$ ，单元 (x, y) 在时刻 t 保持为土地利用类型 K 的惯性(继承性) ${}^tI_{K,x,y}$ 和随机干扰因素 v 综合影响的结果，可以表示为

$${}^tP_{K,x,y} = f({}^tS_{K,x,y}, {}^tN_{K,x,y}, {}^tI_{K,x,y}, v). \quad (1)$$

进一步的，为计算需要，可以把(1)式表示为

$${}^tP_{K,x,y} = ((1 + {}^tS_{K,x,y}) \times (1 + {}^tN_{K,x,y}) + {}^tI_{K,x,y}) {}^t v, \quad (2)$$

式中参数意义同(1)式。同时，单元 (x, y) 在时刻 t 对土地利用类型 K 的适宜性 ${}^tS_{K,x,y}$ 可以表示为

$${}^tS_{K,x,y} = \left(\sum_{i=1}^m W_{i,K,x,y} \times S_{i,K,x,y} \right) \prod_{r=1}^n C_{r,K,x,y}, \quad (3)$$

式中， $\sum_{i=1}^m W_{i,K,x,y} \times S_{i,K,x,y}$ 表示对于土地利用类型 K 的一般性适宜因素，如地形，交通等的影响。 $S_{i,K,x,y}$ 表示一般适宜性因素 i 在单元 (x, y) 对土地利用类型 K 的标准化值， $W_{i,K,x,y}$ 是其权重； $\prod_{r=1}^n C_{r,K,x,y}$ 是一系列二值变量的乘积，表示对土地利用类型 K 的强制性适宜因素，如果 $C_{r,K,x,y} = 0$ ，则单元 (x, y) 可能是沙漠，冰川等难利用地，它们在模型中假定不发生变化。周围土地单元对单元 (x, y) 在时刻 t 转化为土地利用类型 K 的

1) [http://dynamic.hps-inc.com/\(Lztemnjrahtmobncn55msrz\)/community/presentations/STELLA.aspx#](http://dynamic.hps-inc.com/(Lztemnjrahtmobncn55msrz)/community/presentations/STELLA.aspx#)

影响 ${}^tN_{K,x,y}$ 可以表示为

$${}^tN_{K,x,y} = \sum_c \sum_l W_{K,L,C} \cdot {}^tG_{c,l} = \sum_c \sum_l \frac{W_{K,L} \cdot {}^tG_{c,l}}{c}, \quad (4)$$

式中, $W_{K,L,C}$ 表示土地利用类型是 K 的单元与邻域中距离为 C 的土地利用类型为 L 的单元之间相互作用强弱关系的权重参数, 两种土地利用类型之间相互作用力越强, 则 $W_{K,L,C}$ 越大. ${}^tG_{c,l}$ 是一个二值变量, 如果在距离 C 处的土地利用单元类型为 L , 则 ${}^tG_{c,l} = 1$, 否则 ${}^tG_{c,l} = 0$.

为简化计算, 单元 (x, y) 在时刻 t 保持为土地利用类型 K 的惯性(继承性) ${}^tI_{K,x,y}$ 可以依据各种土地利用类型惯性强弱的大小, 定义为 0 到 1 之间的一个常量, 值越大说明其保持为原有土地利用类型的惯性越强.

对于随机干扰因素 v , 可以表示为

$$v = 1 + [-\ln(\text{rand})]^a, \quad (5)$$

式中, rand 是 0~1 之间的一个随机数, a 是一个表示干扰程度大小的常数.

在得到单元 (x, y) 被某种土地利用类型 K 在时刻 t 占有的概率 ${}^tP_{K,x,y}$ 后, 就可以依据概率的高低对土地单元进行分配. 具体的, 依据从系统动力学模型中得到的各种土地利用类型的宏观总量需求, 以 5 年为模拟周期按照下面的规则进行土地需求的空间供给分配.

规则 1: 在一个模拟周期内, 假定土地总量需求的顺序按照城镇用地、耕地、草地、森林的顺序进行分配, 在前一种土地利用类型需求总量满足的基础上, 再分配下一种土地利用类型直到所有用地需求总量被满足为止.

规则 2: 以单元 (x, y) 被某种土地利用类型 K 在时刻 t 占有的概率 ${}^tP_{K,x,y}$ 高低作为分配土地单元的基础. 首先选出区域内转化土地利用类型 K 的概率大于转化为其他土地利用类型的概率的土地单元, 然后对这些选出的土地单元从最高概率的单元开始分配, 接着是第 2 高概率的单元, 如此分配, 直到该模拟周期内的土地利用类型 K 的需求总量达到满足为止.

规则 3: 考虑土地利用的滞后性, 一种土地利用类型发生转化后, 则在模拟周期内假定它不能再转化为其他类型.

2 LUSD 模型应用

北京、天津、河北、山西、内蒙古、吉林、辽宁、黑龙江、陕西、甘肃、宁夏、青海和新疆等我国北方 13 省市, 位于东经 $73^\circ \sim 136^\circ$, 北纬 $31^\circ \sim 54^\circ$, 地跨湿润、半湿润、半干旱和干旱 4 个地带, 气候的地域差异性和过渡性明显, 地表植被类型多样, 生态环境相对比较脆弱. 近年来, 由于不合理的土地利用造成的地表植被破坏、土壤沙化、沙尘暴肆虐等生态环境问题一直比较突出, 明显影响着区域自身的经济发展和社会进步^[34]. 因此, 我们应用 LUSD 模型, 进行了中国北方 13 省未来 20 年土地利用变化格局的情景模拟工作.

所用的数据包括由国家气象局提供的 NOAA/AVH-RR 产生的逐月 NDVI 数字影像生成的中国北方 13 省 1989, 1994 和 1999 年 1 km 土地利用/覆盖数据和由美国地质调查局地球资源观测系统 (Earth Resources Observation System: EROS) 数据中心提供的中国 1 km 分辨率的 DEM 数据; 由国家统计局发布的 1989~2000 年中国社会经济统计数据以及由中国地图出版社等单位出版的下列辅助数据: 1:100 万中国土地利用图、1:100 万中国植被图、1:100 万中国省界图、1:100 万中国一级公路图和 1:100 万中国高速公路图.

同时, 考虑到基础资料的限制和模型简化工作的需要, 模拟的重点将集中在城镇用地、草地、林地和耕地 4 大类用地上面, 对于沙漠、戈壁等难利用地和滩涂、湖泊等水体, 则假定它们保持不变, 维持在 1999 年的水平.

2.1 参数准备和模型订正

由于资料的限制, 土地利用的适宜性主要选用了地形和交通因素两个因素, 前者是 1 km 分辨率的 DEM 数据产生的坡度数据, 后者则使用了 1:100 万的铁路、公路和高速公路数据.

由于不同土地利用类型对交通通达性的要求不一样, 我们使用下面的公式来反映时刻 t 土地利用类型 K 从单元 (x, y) 到交通因素 r 的通达性 ${}^tA_{r,K,x,y}$:

$${}^tA_{r,K,x,y} = \frac{1}{1 + (D_r/a_{r,K})}. \quad (6)$$

上式中, D_r 表示单元 (x, y) 到最近的在交通因素 r 上的单元 (x, y) 的距离, $a_{r,k}$ 是一个修订的距离衰减的通达性系数, 表示土地利用类型 K 对到交通干线因素 r 的通达性的依赖程度. 根据城镇用地、耕地对交通干线的依赖性的不同, 对 $a_{r,k}$ 分别取 100, 10 后, 可以把铁路、公路、高速公路对它们的影响标准化到 0 和 1 之间. 对于草地和林地, 在 $a_{r,k}$ 都取 1 后, 可以利用下面的公式, 也把它们标准化到 0 和 1 之间.

$${}^t A'_{r,K,x,y} = 1 - {}^t A_{r,K,x,y} \quad (7)$$

不同土地利用类型对坡度因素的要求显然也是不同的, 坡度因素对城镇用地用地的影响 $U(x)$ 可以利用下面的公式标准化到 0 和 1 之间:

$$U(x) = \begin{cases} 1, & slope \leq 5 \\ -0.1 * slope + 1.5, & 5 < slope \leq 15 \\ 0, & slope > 15 \end{cases} \quad (8)$$

对于耕地, 则认为 25 度以上耕地的坡度适宜性为 0, 25 度以下的坡度适宜性为 1. 同时, 认为坡度对林地和草地没有影响.

同时, 由于在 LUSD 模型中不同土地利用类型的继承性大小、邻域内不同土地利用类型之间的相互影响大小和不同影响因素之间的权重设定, 都将对最终模拟结果产生直接影响, 因此, 利用可靠历史数据进行模型的订正就显得十分必要. 我们以 1989 年北方 13 省土地利用数据为基础开始模拟, 利用 1994 和 1999 年土地利用数据进行模型的订正^[34], 结果表明, 林地、草地、耕地和城镇用地 4 种用地最佳模拟结果和土地利用数据相比较的总精度基本上在 75% 左右, Kappa 系数在 0.6 左右, 这说明 LUSD 模型能够在一定程度上反映区域土地利用的空间演化分布特征(图 3).

2.2 1999~2020 年北方 13 省土地利用情景模拟

在 1989~1999 年模拟的基础上, 以中国北方 13 省区域实际情况和中国未来整体发展情况为基础, 首先考虑土地利用政策的影响, 根据《中华人民共和国水土保持法》的规定^[35], 假定在 2010 年前, 坡度大于 25° 的陡坡耕地必须无条件的完成退耕还林还草. 然后通过人口、GDP、市场调节(粮食自给率)、技术进步(粮食单产)等情景参数的组合设定, 设置仿真情

景, 进行不同系统状态下中国北方 13 省 2000~2020 年土地利用的情景模拟研究.

各种情景参数设置状况见表 1, 关于这些参数的详细设置说明可见文献 35. 在对表 1 中各种参数不同情况进行组合的基础上, 可以得到未来 20 年中国北方 13 省的 54 种土地利用驱动情景. 考虑到情景的代表性和实际意义以及本文目的和篇幅的限制, 我们主要进行了表 2 中 6 种驱动情景下中国北方 13 省未来土地利用情景需求模拟(表 3), 并在此基础上给出了与区域实际情况比较接近的情景 C 和情景 D 下的土地利用空间格局图(图 4). 从模拟结果上看, 北方农牧交错带地区是中国北方未来 20 年土地利用变化比较明显的地区, 而耕地和城镇用地则是农牧交错带内变化最为显著的两种用地类型.

3 结论和讨论

(1) 综合自上而下系统动力学模型和自下而上的元胞自动机模型, 充分利用系统动力学模型在情景模拟和宏观驱动因素反映上的优势与元胞自动机模型在微观土地利用空间格局反映上的优势, 从宏观用地总量需求和微观土地供给相平衡的角度, 发展了土地利用情景变化动力学 LUSD 模型. 该模型首先以系统动力学模型为基础, 从社会经济系统中人口、经济(GDP)、市场调节(粮食自给率)、土地政策以及技术进步(粮食单产)五大因素驱动土地需求的角度, 模拟未来不同发展情景下的土地总量需求, 然后以元胞自动机模型为基础, 结合 GIS 技术, 从满足局部土地利用继承性、适宜性和邻域影响的角度完成未来不同土地需求情景下的土地空间分配. 利用该模型对中国北方 13 省未来 20 年土地利用变化的情景模拟结果表明, 由于 LUSD 模型充分利用了系统动力学模型和元胞自动机模型的特点和优势, 同时考虑了土地利用系统宏观驱动因素复杂性和微观格局演化复杂性的特征, 因而提高了当前土地利用情景模型的可靠性, 这将在一定程度上为理解土地利用系统的复杂驱动行为, 评估脆弱生态区土地系统变化的潜在生态效应提供帮助.

(2) LUSD 模型对中国北方 13 省未来 20 年土地利用变化的情景模拟结果也表明, 农牧交错带地区

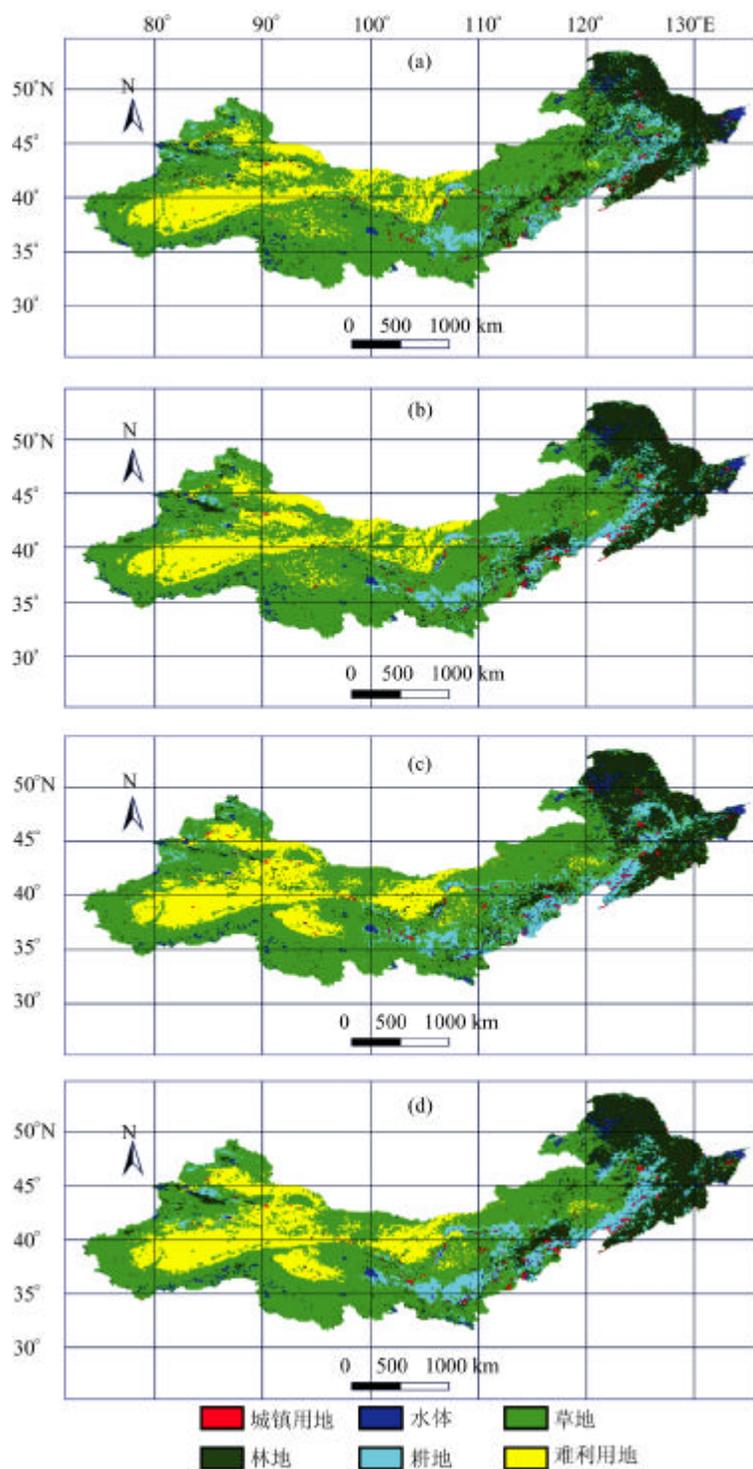


图 3 基于 LUSD 模型的中国北方 13 省 1989~1999 年土地利用模拟结果

(a) 中国北方 13 省 1994 年土地利用/覆盖现状图; (b) 中国北方 13 省 1994 年土地利用/覆盖模拟图(总精度 74%, Kappa 0.59); (c) 中国北方 13 省 1999 年土地利用/覆盖现状图; (d) 中国北方 13 省 1999 年土地利用/覆盖模拟图(总精度 77%, Kappa 0.62)

表 1 未来 20 年中国北方 13 省土地利用情景参数设置

情景参数	参数设置	
GDP	高增长率 (E1)	北方 13 省经济保持每年 7.5% 的增长速度
	中增长率 (E2)	北方 13 省经济保持每年 7.2% 的增长速度
	低增长率 (E3)	北方 13 省经济保持每年 7.0% 的增长速度
人口 ^{a)}	快速增长型 (P1)	参见国家计划生育委员会对中国未来人口增长的预测结果
	稳定发展型 (P2)	参见中国人口信息研究中心对中国未来人口增长的预测结果
	低速发展型 (P3)	参见联合国对中国未来人口增长的预测结果
市场	开放输出 (M1)	粮食自给率为 1.15
	封闭平衡 (M2)	粮食自给率为 1
	开放输入 (M3)	粮食自给率为 0.85
技术进步	不考虑技术进步因素 (T1)	区域粮食单产维持 2000 年的现有水平
	考虑技术进步因素 (T2)	区域粮食单产 2000-2010 年增长率为 0.5%，2011-2020 年增长率为 0.4%

a) 参考来源: <http://www.cpic.org.cn>

表 2 未来 20 年中国北方 13 省土地利用驱动情景

系统状态	状态说明	情景说明	
封闭	封闭平衡	情景 A	经济高速发展, 高人口增长, 粮食单产高于 2000 年水平($E_1P_1M_2 T_2$)
		情景 B	经济低速发展, 低人口增长, 粮食单产维持 2000 年水平($E_3P_3M_2 T_1$)
开放	开放输入	情景 C	经济高速发展, 高人口增长, 粮食单产高于 2000 年水平($E_1P_1M_3 T_2$)
		情景 D	经济低速发展, 低人口增长, 粮食单产维持 2000 年水平($E_3P_3M_3 T_1$)
	开放输出	情景 E	经济高速发展, 高人口增长, 粮食单产高于 2000 年水平($E_1P_1M_1 T_2$)
		情景 F	经济低速发展, 低人口增长, 粮食单产维持 2000 年水平($E_3P_3M_1 T_1$)

表 3 未来 20 年中国北方 13 省不同情景驱动下的土地利用结构变化预测

	年份	耕地/km ²	林地/km ²	牧草地/km ²	城镇用地/km ²
实际情况	1999	572520	1042656	2411828	89049
	2010	528179	1023098	2458771	106005
情景 A	2020	493167	1037559	2471072	114255
	2010	530854	1020963	2458729	105507
情景 B	2020	529305	1016006	2457891	112851
	2010	528179	1023098	2458771	106005
情景 C	2020	461196	1049542	2491060	114255
	2010	530608	1020834	2458659	105952
情景 D	2020	472180	1042921	2486415	114537
	2010	547060	1005161	2457827	106005
情景 E	2020	567220	1000572	2434006	114255
	2010	567111	986518	2456917	105507
情景 F	2020	608770	969783	2424649	112851

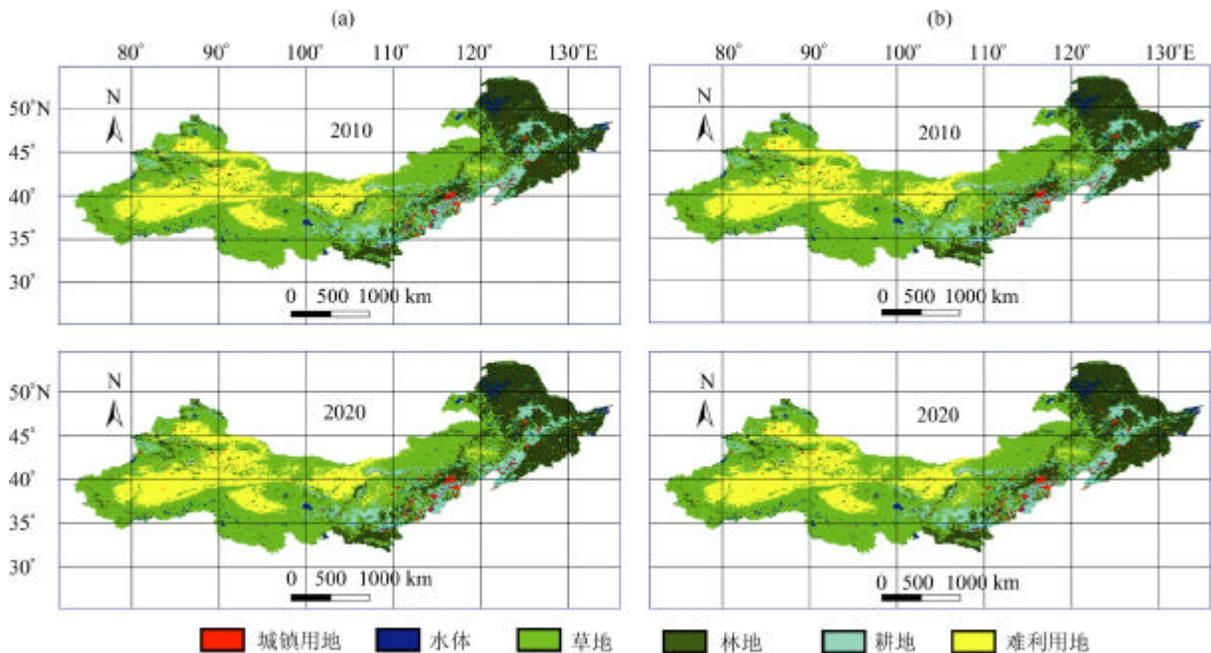


图 4 基于 LUSD 模型的中国北方 13 省 1999~2020 年土地利用情景模拟结果

(a) 情景 C 下的模拟结果; (b) 情景 D 下的模拟结果

是中国北方未来 20 年土地利用变化比较明显的地区, 而耕地和城镇用地则是农牧交错带内变化最为显著的两类用地类型。

(3) 土地利用系统是一个不同尺度下自然和社会因素综合影响下的复杂系统. 在目前的 LUSD 模型中, 仅仅考虑了社会经济系统中几个主要因子对土地利用系统的驱动作用, 还只是一个初步的简化模型. 事实上, 气候因素、资源约束因素(如水资源)等对中国北方未来土地利用结构变化的影响也是非常明显的. 同时, 就社会经济驱动因素而言, 随着不同阶段社会经济增长方式的可能转变, 基于历史数据的模拟合理性和准确性在未来也可能不完全适用甚至完全不适用. 此外, 在微观格局的演化模拟方面, 影响因素的选择, 标准化和权重确定方法也需要进一步的完善和改进, 因此, 本文的模拟结果只能是一种可能的“情景结果”, 它更多反映的还是某种特定条件下的可能情况, 具有不确定性, 而不是与实际情况充分接近的“预测结果”, 甚至有可能出现与实际情况差距甚远的情况, 这是我们在研判土地利用情景模拟结果时应该充分注意的一点。

参 考 文 献

- 1 IIASA. Modeling land use and land cover changes in Europe and Northern Asia. Research Plan, 1998. 14~21
- 2 Costanza R, Ruth M. Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus. *Environmental Management*, 1998, 22: 183~195
- 3 Integrated research on coupled human-environmental system. *LUCS Newsletter*, 2003, 9: 8~9
- 4 Lambin E F, Geist H J. Global land use and land cover change: What have learned so far? *Global Change Newsletter*, 2001, 46: 27~30
- 5 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354~358
- 6 史培军, 宋常青, 景贵飞. 加强我国土地利用/覆盖变化及其对生态环境安全影响的研究——从荷兰“全球变化开放科学会议”看人地系统动力学研究的发展趋势. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 161~168
- 7 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例. *地理学报*, 1999, 54(3): 241~246
- 8 蔡运龙. 中国西南喀斯特山区的生态重建与农林牧业发展: 研究现状与趋势. *资源科学*, 1999, 21(5): 37~41
- 9 冷疏影, 李秀彬. 土地质量指标体系国际研究的新进展. *地理学报*, 1999, 54(2): 177~185

- 10 张新时. 天山北部山地-绿洲-过渡带-荒漠系统的生态建设与可持续农业范式. *植物学报*, 2001, 43(12): 1294~1299
- 11 Lambin E F. Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 1997, 21: 375~393
- 12 Verburg P H, Veldkamp A, Fresco L O. Simulation of changes in the spatial pattern of land use in China. *Applied Geography*, 1999, 19: 211~233
- 13 Lambin E F, Turner B L, Geist H J, et al. The causes of land use and land cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 2001, 11: 261~269
- 14 Hubacek K, Sun L. A scenario analysis of China's land use and land cover change: Incorporating biophysical information into input-output modeling. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2001, 12: 367~397
- 15 Lambin E F, Rounsevell M D A, Geist H J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 82: 321~331
- 16 Veldkamp A, Fresco L O. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Model*, 1996, 85: 253~270
- 17 何春阳, 陈晋, 史培军, 等. 大都市区城市扩展模型-以北京城市扩展模拟为例. *地理学报*, 2003, 58(2): 294~304
- 18 王其藩. *系统动力学*. 北京: 清华大学出版社, 1993
- 19 Li L, Simonovic S P. System dynamics model for predicting floods from snowmelt in North American prairie watersheds. *Hydrological Processes*, 2002, 16(13): 2645~2666
- 20 张汉雄. 晋陕黄土丘陵区土地利用与土壤侵蚀机制仿真研究. *科学通报*, 1997, 42(7): 743~746
- 21 裴相斌, 赵冬至. 基于 GIS-SD 的大连湾水污染时空模拟与调控策略研究. *遥感学报*, 2000, 4(22): 118~124
- 22 周成虎, 孙战利, 谢一春. *地理元胞自动机研究*. 北京: 科学出版社, 1999
- 23 Batty M, Xie Y. Possible urban automata. *Environment and Planning B*, 1997, 24: 175~192
- 24 Batty M, Xie Y, Sun Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computer, Environmental and Urban Systems*, 1999, 23: 1~29
- 25 Clarke K C, Gaydos L J. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *Int.J. Geographic Information Science*, 1998, 12(7): 699~714
- 26 White R, Engelen G, Ulfje I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land use dynamics. *Environment and Planning B*, 1997, 24: 323~343
- 27 Wu F, Webster C J. Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environment and Planning B*, 1998, 25: 103~126
- 28 Li X, Yeh A G O. Modeling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. *Int J Geographical Information Science*, 2000, 14(2): 131~152
- 29 黎夏, 叶嘉安. 主成分分析与 Cellular Automata 在空间决策与城市模拟中的应用. *中国科学, D 辑*, 2001, 31(8): 683~690
- 30 Ward D P, Murray A T, Phinn S R. A stochastically constrained cellular model of urban growth. *Computer, Environment and Urban System*, 2000, 24: 539~558
- 31 Theobald D, Gross M. EML: A modeling environment for exploring landscape dynamics. *Computers, Environment, and Urban Systems*, 1994, 18: 193~204
- 32 Wu F, Webster C J. Simulating artificial cities in a GIS environment: Urban growth under alternative regulation regimes. *Int J Geographical Information Science*, 2000, 14(7): 625~648
- 33 White R, Engelen G. High-resolution integrated modeling of the spatial dynamics of urban and regional system. *Computer, Environment and Urban System*, 2000, 24: 383~400
- 34 李景刚, 何春阳, 史培军, 等. 中国北方 13 省 1983 年后的耕地变化与驱动力研究. *地理学报*, 2004, 59(2): 274~282
- 35 何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 中国北方未来土地利用变化情景模拟. *地理学报*, 2004, 59(4): 599~607
- 36 Barredo J I, Kasanko M, McCormick M, et al. Modelling dynamic spatial processes: Simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 64: 145~160