

基于 LP—MCDM—CA 模型的土地利用结构优化研究 ——以天水市为例

潘竟虎, 石培基, 赵锐锋

(西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 土地利用类型数量在地域空间上的优化配置是实现土地可持续利用, 提高土地聚集效应和保持土地生态系统平衡的重要途径。针对当前土地利用优化配置模型存在的不足, 构建了基于多目标线性规划与元胞自动机的土地利用优化配置模型 (MCDM—CA), 在定义邻域规则、转换规则和土地适宜性评价的基础上, 开展了基于经济效益、生态效益最大化的土地利用空间配置, 实现了土地资源数量结构优化与空间布局优化的统一; 并运用该模型对天水市土地利用结构优化进行了实证研究。研究表明, 该模型兼顾到区域宏观水平上的土地利用数量结构与局部尺度上的土地利用适宜性, 能够较好地同时模拟不同土地利用类型以及不同人类决策情景下的土地利用效果。本研究可为解决土地利用规划中的资源优化配置关键问题提供新的技术方法。

关键词: 土地利用结构优化; 多目标决策; 线性规划; 元胞自动机; GIS 天水市

中图分类号: F301 P273

文献标识码: A

土地利用结构是各种土地利用类型在一定区域内所存在的质和量上的对比关系以及它们的组合所形成的一定格局或图式, 包括数量结构和空间结构两个方面。土地利用结构优化是在一定投入与约束条件下, 通过对各种土地资源类型进行数量组合和空间布局, 选取最优的土地利用方式, 以提高土地利用效率和效益, 维持土地生态系统的相对平衡, 实现土地资源的可持续利用^[1]。在目前土地政策参与国家宏观调控的现实需要下, 研究土地利用结构变化及其优化, 实现有限的土地资源在国民经济各产业、各部门、各区域之间优化配置, 促进土地资源的节约集约利用, 具有十分的必要性和深刻的实践意义^[2]。传统的土地资源优化配置模型总体上可分为多目标规划、目标规划和基于景观生态学的土地利用景观格局优化模型等基本类型。近年来, 不少学者通过与相关模型算法集成, 引入了一系列具体

优化模型应用到土地结构优化研究中。如基于生态承载力、生态支持能力和生态绿当量的生态效益考量方法^[3]、基于遗传算法的土地多目标规划^[4]、基于 CA—MAS—SI 耦合的土地模拟优化系统^[5]、基于系统动力学的优化方法^[6]等。这些模型在一定程度上解决了传统土地资源优化配置模型的非动态、单目标性等缺点, 但大都仅限于对土地利用数量结构进行优化, 而缺乏对土地利用数量结构与空间结构的有效统一。本文在 GIS 支持下, 建立一个集成多目标决策 (multi-criterion decision-making MCDM) 和元胞自动机 (cellular automata CA) 的模型, 并应用于天水市土地利用结构的优化配置, 旨在实现土地资源数量结构优化与空间布局优化的有效统一, 为促进区域土地资源优化配置、新一轮土地利用总体规划修编提供有利借鉴。

收稿日期 (Received date): 2009-12-11; 改回日期 (Accepted): 2010-05-15.

基金项目 (Foundation item): 国家社会科学基金重点项目 (08AMZ003), 国家自然科学基金项目 (40971078), 西北师范大学知识与科技创新工程项目 (NWNU-KJCXGC-03-60). [National Social Science Foundation Key Project (08AMZ003); National Natural Science Foundation Project (40971078); Knowledge and Sci-Tech innovation projects in the Northwest Normal University (NWNU-KJCXGC-03-60).]

作者简介 (Biography): 潘竟虎 (1974-), 男, 甘肃嘉峪关人, 副教授, 研究方向为环境遥感与 GIS 应用。[Pan Jinghu, associate professor, research environmental remote sensing and GIS applications] E-mail: panjh_nwnu@nwnu.edu.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 研究区域与数据来源

天水市位于甘肃省东南部,介于 $104^{\circ}35' \sim 106^{\circ}14'E$, $34^{\circ}05' \sim 35^{\circ}10'N$ 。市域大部分地区属陇中黄土高原,南部和东北部有部分石质山地,渭河横贯中部。地势西北低东南高,海拔 748 ~ 3 112 m。属暖温带半湿润、半干旱气候,年日照时数 2 114 h,年均降水量在 510 mm,蒸发量 1 294 mm,年平均气温 $7 \sim 11^{\circ}C$ 。全市可利用土地资源有限,土地生产力整体水平低,土地垦殖率较高,生态环境脆弱,水土流失严重。辖 2 区 5 县,总面积 14 312 km^2 ,人口 354 万(2007年)。作为天水—关中经济区次核心城市和重要的发展极,未来经济社会发展对土地的需求旺盛,土地利用结构的转换将非常频繁。

文中所用图件及数据全部来自《天水市土地利用总体规划修编(2006~2020年)》专题研究项目,包括天水市土地利用变更调查数据、天水市土地利用现状图(SPOT遥感影像解译得到)、天水市各部门“十一五”及中长期发展规划、天水市城市总体规划(2005~2020年)等,社会经济数据取自《天水年鉴(1997~2006年)》。

2 研究方法

土地利用结构优化研究是一项复杂的系统工程^[7]。在基于区域历史土地利用变化趋势、驱动因子和土地利用变化的经验关系的基础上,本研究首先利用灰色 GM(1,1)方法,结合各类部门规划预测未来各种土地利用类型和社会经济指标的变化数量;然后,构建了基于经济效益和生态系统服务价值最大化的土地利用结构优化模型,依据影响土地利用变化的本地和区域因素,利用 CA 模型和 MCDM 模型计算转换概率,通过在定义邻域规则和转换规则的基础上依据转换规则和土地利用需求进行土地利用多目标空间配置。在土地利用空间配置结束后,更新元胞单元状态并产生新的土地利用图,将新的土地利用图作为下一个迭代最初状态,直到所有循环结束后产生最终模拟得到的未来某个年份的土地利用图层^[8]。

2.1 多目标线性规划模型的构建

目前对土地利用结构优化中目标函数、效益系数及约束条件中相关技术系数的确定,普遍采用基

于经济数据统计基础上进行计算确定,虽然能够客观反映土地利用经济功能,但忽视了土地生态系统服务功能价值,导致经济效益的增长实际是建立在生态系统服务功能价值降低的基础上。本文选取了经济效益目标和生态效益目标,社会效益目标很难量化,主要通过具体的指标构建约束条件,进而影响整个模型的运算及其科学性。数学模型为^[3,5]

$$\max z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij} x_j \leq (=, \geq) b_j \quad (2)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad (3)$$

方程(1)为模型目标函数,方程(2)为约束条件,方程(3)是非负约束条件。变量 x_j 表示各类土地利用面积(hm^2), a_{ij} 表示约束系数, b_j 表示约束常数(单位依具体情况而定)。

2.2 MCDM-CA 模型

2.2.1 模型概况

CA 模型可用下式表示

$$S^{t+1} = f(S^t, N) \quad (4)$$

式中 S 表示元胞有限、离散的状态集合, $t, t+1$ 表示不同时刻; N 表示元胞的邻域; f 表示局部空间的元胞转化规则。利用 MCDM-CA 模型计算转换概率,转换概率的计算基于影响土地利用变化的本地和区域因素,通过在定义邻域规则和转换规则的基础上,依据转换规则和土地利用需求进行土地利用多目标空间配置,直到所有的土地利用需求都得到满足时,结束空间配置迭代过程。CA 模型不仅由土地适宜性限制因素所控制,同时也受到土地利用需求和区域尺度上政策因素的影响。通过 CA 转换规则的定义,确定在何种情况下转换为某种特定状态,从而体现人为措施的影响;同时,在多目标决策过程中通过权重值的设定来体现决策者的偏好。

2.2.2 转换规则

转换规则是 CA 模型的核心。转换规则基于土地利用适宜性,然后通过一定的算法将适宜性转换为转换概率。在通过多目标决策方法确定某个元胞的适宜性中,元胞的适宜性定义为^[9]

$$SS_k = f(Z_i, U) \quad (5)$$

式中 SS_k 是某个元胞单元对于土地利用方式 k 的适宜性; Z_i 是影响土地适宜性的因素; U 是代表决策者选择或决策的一组规则,永久性水体、陡坡地区以及其他特殊保护地区的土地利用方式是不容许改变的,而对建设用地而言,基本农田保护是另一个重要的制约因素。某个元胞的状态由它的转换概率所

确定, 而转换概率又由其适宜性所决定。即

$$S^{t+1} = f(P_k^t); P_k^t = f(CS_k^t); CS_k^t = f(S, N, T, Z, U) \quad (6)$$

式中 P_k^t 是 t 时刻某个元胞转换为 k 用途的概率; CS_k^t 是 t 时刻某个元胞单元对土地利用方式 k 的适宜性。适宜性是动态的, 因为限制因素和邻域单元的状态是动态的, 在每个时间步长中 CA 模型的转换规则得到更新。适宜性的最大值在每次迭代中改变, 用相对适宜性来确定 t 时刻某个元胞单元转换为 k 利用方式的概率

$$P_k^t = \exp[\alpha (CS_k^t / CS_{Max}^t - 1)] \quad (7)$$

式中 α 是基于转换规则的离散参数, 它的值决定了位置选择如何进行。 α 的值越高, 位置选择过程越严格, 被选择为该种土地利用方式的概率越小^[19]。

2.2.3 土地利用空间配置

CA 模型中某个元胞单元实际配置为何种土地利用方式, 同时受到它的转换概率和需求所控制, 由于空间配置是基于不同的土地利用方式竞争的基础上展开的, 因此采用多目标空间配置方法。在多目标配置问题中, 其一为优先级别排序法, 另一种是启发式搜索方法^[11]。前者的假设前提是某种土地利用方式比其他重要, 而后者的配置原则是总体适宜值最大化。考虑到城镇用地的优先级别比较高, 对城镇用地的空间配置采用优先级别排序法, 而对其他用地采用启发式搜索方法。在进行除城镇用地以外的其他用地的配置过程中, 所有的元胞单元首先都按它们的概率进行排序, 将元胞单元赋为最高概率的土地利用方式, 从而产生各种土地利用方式的空间配置图层, 通过比较确定那些元胞单元被配置为多种利用方式的情况。在每次迭代中, 首先从最高概率进行配置, 直到穷尽或需求得到满足。配置为某种土地利用方式的数量, 是从多目标线性规划模型中优化得出的该类土地利用面积。元胞单元 (x, y) 被某种土地利用类型 k 在时刻 t 占有的概率可以看成是单元 (x, y) 在时刻 t 对土地利用类型 k 的适宜性, 周围土地单元对单元在时刻 t 转化为土地利用类型 k 的影响和单元 (x, y) 在时刻 t 保持为土地利用类型 k 的惯性 (继承性) 综合影响的结果, 在得到单元 (x, y) 被某种土地利用类型 k 在时刻 t 占有的概率后, 就可以依据概率的高低对土地单元进行分配。

2.2.4 CA 约束条件^[14 12]

在每轮 CA 迭代运算结束后, 即对整个区域范围进行土地利用类型统计, 并与土地数量结构优化结果进行对比。若某地类已接近最优面积, 则动态调整元胞状态转换规则, 使其他地类向该类转化的概率变小; 相反, 远小于最优面积时, 则可适当调整转换规则, 使其他类型转换为该类型的概率提高。此外, 为保证 CA 迭代模拟的结果符合景观格局优化的要求, 在本研究中遵循“大集中小分散”的原则, 对土地利用斑块面积进行约束, 考虑到研究区地处黄土丘陵沟壑区, 地形较为破碎的实际, 要求每个斑块面积不 $> 200 \text{ hm}^2$ 。在每轮迭代结束后, 即检核同类相邻图斑面积, 若接近最大约束条件, 则在考虑状态转换规则时减少向该同类地类转化的概率, 以保证土地利用类型多样化。

2.3 模型集成

整个模型采用松散集成的方式实现, 土地利用多目标线性规划利用 WinQSB 软件实现, CA 模型与 GIS 采用紧密集成的模式, 采用 AML 宏语言调用 ARCGIS GRID 模块功能实现 CA 模型, GIS 和 CA 模型具有共同的图形用户界面, 能直接利用 GIS 中的空间数据, 无需进行任何格式的转换, 并可直接调用 GIS 现成空间分析功能^[13]。LP 模型获得优化后的土地利用数量结构, GIS 空间分析得到土地利用适宜性图层, 采用优先级别排序法与启发式搜索方法相结合的方法, 利用 MCDM-CA 进行土地利用空间配置的动态模拟, 直到需求得到满足为止。

3 结果与分析

3.1 土地资源数量结构优化

3.1.1 变量设置

以土地利用现状分类为基础, 结合天水土地资源特点以及土地利用规划的要求, 以 2005 年为基期, 规划目标年为 2020 年, 设置 12 个决策变量, 分别为: 耕地 x_1 、园地 x_2 、林地 x_3 、牧草地 x_4 、其他农用地 x_5 、城镇用地 x_6 、农村居民点 x_7 、独立工矿 x_8 、交通过地 x_9 、水利设施用地 x_{10} 、特殊用地 x_{11} 、未利用地 x_{12} 。

3.1.2 约束条件建立

约束条件是实现目标函数的限制因素, 主要限于与土地利用结构关系特别密切的土地资源、社会需求和生态要求等方面, 遵循的原则包括: 1. 全市所承载的人口总量不超过预测的目标年人口水平;

2. 各类用地面积之和应等于土地总面积; 3. 遵循土地利用规划约束, 大农业用地和耕地面积以规划为下限, 各类建设用地以规划为上限; 4. 满足经济发展对土地的需求; 5. 生态约束, 具有生态功能的各类面积高于现状水平。据此确立 4 个方面的约束条件, 见表 1。

3. 1. 3 目标函数构建

目标函数构建的核心和难点是效益系数的合理确定, 本研究分别选取了经济效益最大化和生态效益最大化目标模型进行计算。

1. 经济效益最大化。利用 1996 ~ 2005 年相关统计数据, 根据 GM (1, 1) 预测各土地利用类型的产出效益, 由于特殊用地和未利用地基本不产生效益, 但考虑到模型计算的需要, 目标函数式中 x_1 和 x_2 的系数取值为 1。目标函数确定为

$$\begin{aligned} \max f_1(x) = & 77875.83x_1 + 81435.38x_2 + \\ & 42454.05x_3 + 58602.22x_4 + \\ & 60685.85x_5 + 165909.4x_6 + \\ & 56779.04x_7 + 100969.40x_8 + \\ & 78483.56x_9 + 77962.65x_{10} + \\ & x_1 + x_2 \end{aligned} \tag{8}$$

2. 生态效益最大化。以单位面积上各土地利用类型的生态服务价值作为变量系数。非农建设用地生态服务价值取 1, 其他土地利用类型参照谢高地等人的研究^[14], 同时根据天水实际情况做了修正, 计算出天水市农田自然粮食产量的经济价值为 425.5 元 / (hm² · a), 据此得出天水市不同生态系统

单位面积生态服务价值。目标函数确定为

$$\begin{aligned} \max f_2(x) = & 3361.45x_1 + 8471.71x_2 + \\ & 11965.06x_3 + 4965.59x_4 + \\ & 1639.43x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + \\ & x_9 + 19296.43x_{10} + x_{11} + \\ & 3094.89x_{12} \end{aligned} \tag{9}$$

区域土地资源数量结构优化一般应根据区域实际设计多种数量结构优化方案。考虑到天水市的发展现状、趋势和定位, 在保持较快的经济发展的同时, 促进区域生态环境的改善是其土地资源优化配置的基本目标之一, 相应确定生态经济协调发展型作为其区域土地资源数量结构优化的目标, 将经济效益和生态效益权重分别设置为 0.6 和 0.4 作为综合效益最大化的目标模型。

3. 1. 4 优化结果

根据以上建立的目标函数与约束条件, 结合多目标规划模型计算原理, 应用 WinQSB 软件对以上构建的模型进行求解。为便于和前期数据比较, 根据全国土地利用分类二级标准以及人们对土地分类的普遍认识, 把 12 个变量合并为 6 大土地利用类型, 优化结果见表 2。为了验证多目标下数量结构优化结果的优劣, 将其与传统的以经济效益最大化为优化目标的单目标优化方法进行了比较 (表 2)。从表 2 可以看出, 天水市土地资源数量结构优化后, 林地增加 208 028 hm², 建设用地增加 10 717 hm², 园地增加 11 572 hm², 耕地面积减少 45 290 hm², 未利用地及其他土地减少 185 027 hm²。耕地数量减少

表 1 天水市土地利用结构优化约束因素、因子及表达式
Table 1 The constraint factor and expression of land use structure optimization in Tianshui

约束因素	约束因子表达式
人口总量	计算得到 1996 ~ 2005 年农用地人口密度和城镇人口密度分别为 1.88 人 / km ² 和 96.12 人 / km ² , 预测 2020 年人口达 382.56 × 10 ⁴ ; $1.88 \left(\sum_{i=1}^5 x_i + x_7 \right) + 96.12 x_6 \leq 3825600$
	土地面积约束: $\sum_{i=1}^{12} x_i = 1421212.55$
宏观规划	大农业用地约束: $\sum_{i=1}^5 x_i \geq 1300334.33$
	依据占补平衡原则, 耕地面积不减小, 扣除坡度 > 25° 以上退耕还林面积, 实际耕地最小面积约束: $x_6 \geq 487967.08$
市场经济	建设用地面积约束: $x_6 \leq 20050$ $x_7 \leq 30240$ $x_8 \leq 1892.82$ $\sum_{i=6}^{11} x_i \leq 74775$
	$x_2 \geq 38574.8$ $x_4 \leq 138491.63$ $x_5 \leq 132174.49$ $x_6 \leq 3407.37$ $x_7 \geq 27933.6$ $x_9 \geq 4009.91$ $x_{10} \geq 226.15$ $x_{11} = 1059.2$
生态环境	林地覆盖率不低于 45%; $x_3 \geq 644045.65$
	牧草地面积不低于现状: $x_5 \geq 138491.6$
非负约束	水域面积不低于现状的 90%; $x_{12} \geq 16788.65$
	$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2 \dots 12$

主要是由生态退耕、农业结构调整及各类建设用地的迅速扩展占用耕地引起的。牧草地生态功能价值与经济产出能力都很小,在理论上应通过深度开发转变为具有更高生态经济功能价值的土地生态系统类型,但考虑到天水市草地类型以山地荒草地为主,开发难度大、生态风险高,应结合水土流失综合治理修复草地生态系统,提高其经济产出能力和生态服务功能。建设用地虽不具有生态系统服务功能价值,但有着较强的经济产出能力,在社会经济快速发展阶段,建设用地的需求是刚性的,因此面积也有所增加。在生态市建设背景下,天水市林地面积规划期内有较大幅度增加,林地的增加一方面增强了土地生态系统的稳定性,另一方面压缩了粮食安全与建设用地需求的土地供给弹性空间,对耕地、建设用地等土地开发利用的集约度提出了更高要求。园地的生态功能与林地具有相似性,而且经济产出能力高、投资回收期短,故应结合退耕还林与水土流失治理,适当增加园地面积。

3.2 土地资源空间分布优化

3.2.1 土地适宜性评价

依据对土地适宜性影响的显著性及收集基础资料的可利用性,经过专家咨询和讨论,筛选出评价因子,其中耕地适宜性主要采用光热条件、土壤类型、水源保证、坡度、土壤质地、土层厚度、海拔等指标;园地适宜性采用光热、海拔、土壤、水源、距交通线的距离、距城镇的距离等指标;林地适宜性采用海拔、土壤类型、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、年降水量、坡度、坡向、土层厚度等指标;牧草地适宜性采用土壤、积温、降水、地貌类型、水源保证、海拔等指标;建设适宜性采用坡度、工程地质条件、与交通线的距离、与河流的距离、地质灾害、与村以上居民点的距离等指标。以土地利用现状数据为基础,将各因素叠加后的栅格 GRID 作为基本评价单元,计算每一个栅格的适宜性综合指数。选取 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 范围作为基本数据单元,利用 ArcGIS 的空间分析功能对各种专题数据进行空

间叠加,得到土地单宜性评价图(图 1)。限于篇幅,只列出耕地的评价因子权重和分级标准(表 3)。

3.2.2 空间分布的 MCDM—CA 模拟

设定 CA 模型的元胞空间大小为 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$,采用扩展的摩尔型邻域,设定模拟的时间步长为 1 a 结合土地适宜性空间分布特征,以天水市 2005 年土地利用现状格局为初始状态(图 2a),时间间隔为 15 a 应用 CA 模型对 2020 年土地利用格局进行预测,并以土地利用数量结构优化结果作为模拟迭代的终止条件,经过多轮迭代,得到最优结果(图 2b)。

将以上模拟结果与天水市 2005~2020 年土地利用总体规划修编的政府要求进行对比分析发现,二者的用地格局基本相似,主要用地类型(建设用地、农用地)的空间发展走向基本相同:林地面积增加,增加的林地面积主要分布在秦州区和武山、清水县所辖小陇山林区和渭北少林区;园地的增加主要分布在秦安县和麦积区的川区和滩涂地;建设用地主要沿渭河川区及其他主要支流的开阔地在中部扩展,迎接天水—关中经济区的辐射效应,体现了建设用地发展的基本要求。本文提出的优化方法,更加注重了土地利用空间景观格局优化和土地利用与生态环境保护协调发展的要求。通过对土地空间布局的优化可以为土地利用规划提供指导。

4 结论与讨论

本文利用 MCDM—CA 模型进行土地利用多目标空间配置,对天水市土地利用变化进行了实证研究。该方法充分考虑到各地类在配置过程中的竞争关系,在利用土地资源数量结构优化配置结果的同时,兼顾了土地利用布局的生态和经济效益,可以为区域土地利用规划提供参考。

由于生态系服务功能的复杂性及其时空上的动态异质性,各类土地的生态服务能力的测算方法,需

表 2 天水市土地资源数量结构优化结果
Table 2 Optimized land use quantitative structure of Tianshui (hm²)

类型	耕地	园地	林地	牧草地	建设用地	未利用地及其他土地
2005 年现状	527 864	38 575	463 229	138 492	49 560	213 493
经济效益最大化	487 572	57 862	644 046	138 492	74 775	28 466
生态效益最大化	475 078	38 575	712 073	138 492	38 529	28 466
综合效益最大化	482 574	50 147	671 257	138 492	60 277	28 466

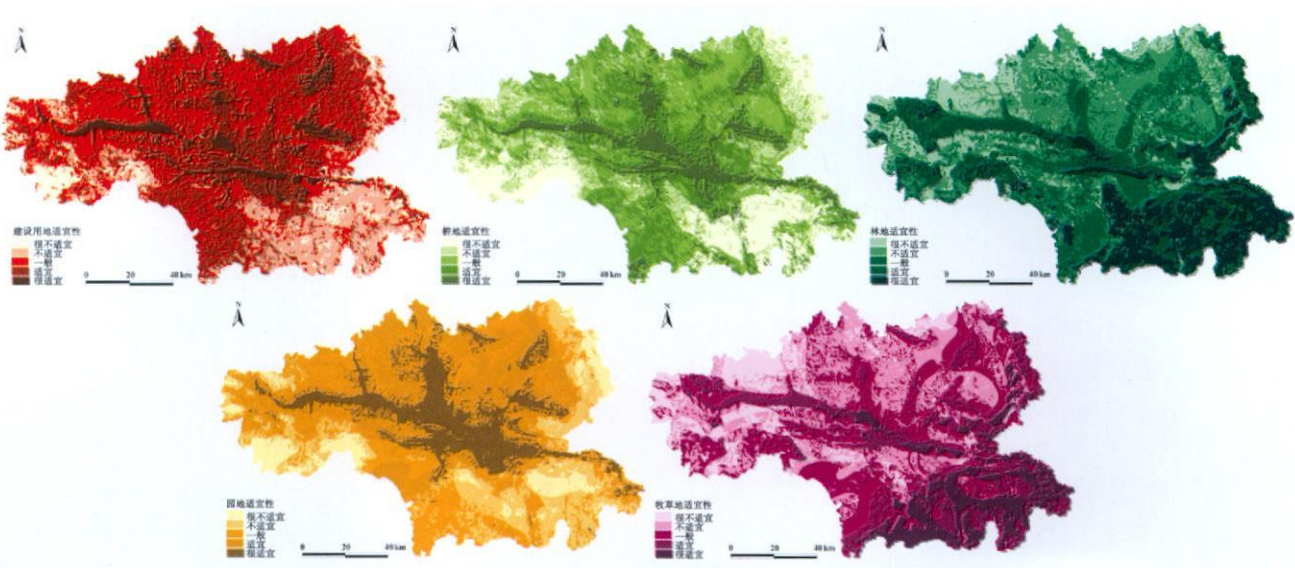


图 1 天水市土地适宜性空间分布图
Fig 1 Spatial distribution map of land suitability in Tianshui

表 3 天水市耕地适宜性评价因子及其等级与权重
Table 3 Land suitability evaluation factors and their levels and weight of Tianshui

评价因子	分值分级				权重
	75 ~100	50 ~75	25 ~50	0 ~25	
土壤类型	水稻土、黑垆土、淀淤土、黄绵土	褐土、潮土	新积土、灰色草甸土、暗色草甸土	棕壤土、红土、沼泽土	0.1
土层厚度 (cm)	>80	50 ~80	30 ~50	<30	0.08
土壤有机质 (%)	>2.5	1.5 ~2.5	0.8 ~1.5	<0.8	0.09
土壤侵蚀程度	微度	轻度	中度	强度、极强度	0.08
年降水量 (mm)	>500	400 ~500	300 ~400	<300	0.15
海拔 (m)	<1500	1500 ~1700	1700 ~2000	>2000	0.1
坡度 (°)	<5	5 ~15	15 ~25	>25	0.15
>10℃积温	>3000	2500 ~3000	2000 ~2500	<2200	0.1
灌溉保证率	充足	较为充足	基本有保证	无法灌溉	0.15

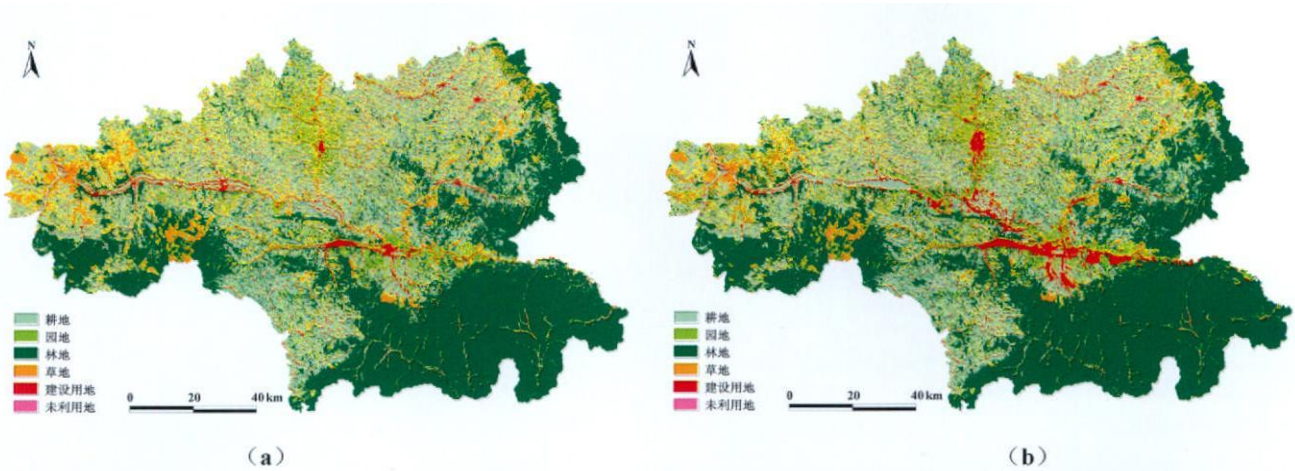


图 2 天水市 2005 年土地利用现状图 (a) 和模拟优化结果图 (b)

Fig. 2 Actual and simulated land use maps of Tianshui

要结合黄土丘陵沟壑区的特点进一步研究细化。此外, MCDM—CA 的核心在于基于土地利用适宜性的土地利用转换概率的定义, 而土地利用适宜性的确定关键在于模拟人类进行土地利用决策时考虑到的影响因子^[8], 由于处于不同层次的土地利用个体在进行土地利用决策时所考虑的因素并不完全相同, 因此给模拟带来一定的困难, 该模型模拟的结果提供一种通常的情况下满足大多数人利益的未来可能发生的情景。

优化结果表明林地、耕地和建设用地是该区域内变化最为显著的用地类型, 退耕还林和基本农田保护政策严格实施与否, 将对天水市未来土地利用变化产生深远的影响。天水市作为关中天水经济区的重要增长极, 面临调整产业结构、提升城市化建设水平的要求, 这样的调整有利于农业产业结构调整 and 生态环境的改善。同时, 天水市土地利用率高, 可开发未利用地少, 后备资源不足, 土地质量较差, 节约集约用地, 加强生态环境保护始终是天水市土地利用的基本原则。

参考文献 (References)

- [1] Xiao Gaoqi, Xiao Yu, Lu Chunxia. Study on ecosystem services progress limitation and basic paradigm [J]. Journal of Plant Ecology 2006 30(2): 191~199 [谢高地, 肖玉, 鲁春霞. 生态系统服务研究: 进展、局限和基本范式 [J]. 植物生态学报, 2006 30(2): 191~199]
- [2] Zhu Yanli, Li Yuequn, Liao Heping. The study on optimization of land-use structure based on gray linear planning [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2009 34(2): 97~102 [朱艳莉, 李越群, 廖和平. 基于灰色线性规划的土地利用结构优化研究 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2009 34(2): 97~102]
- [3] Zheng Qunying, Zhou Shenglu, Ren Kui. An eco-efficiency measurement method of land use structure optimization [J]. Resources Science 2009 31(4): 634~640 [郑群英, 周生路, 任奎. 土地利用结构优化生态效益考量方法研究 [J]. 资源科学, 2009 31(4): 634~640]
- [4] Yu Sujun, Zhang Ji. Multi-objective programming method for land use based on genetic algorithm [J]. China Population Resources and Environment 2006 16(5): 62~66 [于苏俊, 张继. 遗传算法在多目标土地利用规划中的应用 [J]. 中国人口·资源与环境, 2006 16(5): 62~66]
- [5] Li Xia, Liu Xiaoping, He Jinqiang et al. A geographical simulation and optimization system based on coupling strategies [J]. Acta Geo-

- graphica Sinica 2009 64(8): 1009~1018 [黎夏, 刘小平, 何晋强, 等. 基于耦合的地理模拟优化系统 [J]. 地理学报, 2009 64(8): 1009~1018]
- [6] Yang Li, He Tengbing, Lin Changhu et al. Structure optimization of land utilization based on System Dynamics in Qianxi County [J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology 2009 28(1): 24~27 [杨莉, 何腾兵, 林昌虎, 等. 基于系统动力学的黔西县土地利用结构优化研究 [J]. 山地农业生物学报, 2009 28(1): 24~27]
- [7] Wang Liven. Ecological economic optimization of land-use structure with the theory of Collected Information Complex Concert Control [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture 2009 17(4): 776~781 [王利文. 土地利用的生态—经济全息协调优化研究 [J]. 中国生态农业学报, 2009 17(4): 776~781]
- [8] Qiu Bingwen, Chen Chongcheng. Land use change simulation model based on MCDM and CA and its application [J]. Acta Geographica Sinica 2008 63(2): 165~174 [邱炳文, 陈崇成. 基于多目标决策和 CA 模型的土地利用变化预测模型及其应用 [J]. 地理学报, 2008 63(2): 165~174]
- [9] Li Ling, Mai Xiongfa. Dynamic simulation and forecast of desertification disaster pattern based on CA—ANN [J]. Journal of Guangxi Teachers Education University (Natural Science Edition), 2009 26(1): 84~89 [李玲, 麦雄发. 基于 CA—ANN 喀斯特石漠化时空格局的动态模拟和预测 [J]. 广西师范学院学报 (自然科学版), 2009 26(1): 84~89]
- [10] Wu F, Webster C J. Simulation of land development through the integration of cellular automata and multi-criteria evaluation [J]. Environment and Planning B: Planning and Design 1998 (25): 103~126
- [11] Eastman JR, Weigen Jin, Peter A K Kyen et al. Raster procedure for multicriteria decisions. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 1995 61(5): 530~547
- [12] Wang Hanhua, Liu Yanfeng. Optimal allocation of land resources based on MOP—CA [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University 2009 34(2): 174~177 [王汉花, 刘艳芳. 基于 MOP—CA 整合模型的土地利用优化研究 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2009 34(2): 174~177]
- [13] Pan Jinghu, Zhao Jun, Dong Xiaofeng. Application of Geo—CA and GIS in the dynamic monitoring and simulation of soil erosion in the Loess Hilly-gully Regions [J]. Arid Zone Research 2008 25(1): 21~24 [潘竞虎, 赵军, 董晓峰. Geo—CA 与 GIS 在区域土壤侵蚀动态监测与模拟中的应用 [J]. 干旱区研究, 2008 25(1): 21~24]
- [14] Xie Gaoqi, Zhen Lin, Lu Chunxia et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. Journal of Natural Resources 2008 23(5): 911~919 [谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法 [J]. 自然资源学报, 2008 23(5): 911~919]

Research on Optimal Allocation Model of Land Use Structure Based on LP—MCDM—CA Model: the Case of Tianshui

PAN Jinghu SHI Peiji ZHAO Ruifeng

(College of Geographic and Environmental Science Northwest Normal University Lanzhou 730070 China)

Abstract: Number of land-use type optimal allocation of geographic space is an important way to achieve sustainable land use, improving land agglomeration effect and maintain a balance of land ecosystems. The land use optimal allocation model based on multi-object linear planning, multi-criterion decision making (MCDM) and cellular automata (CA) was proposed. On the basis of land suitability evaluation and definition for neighborhood rules and transformation rules, land use in space allocation was carried out to maximize economic efficiency and ecological benefits. This model achieved a integration optimization both land resources number structural and spatial pattern. Empirical studies was carried out by using this model for land use structure optimization, taking Tianshui as a case. The results show that this integrated model can both simulate the land use demand at macro level and land suitability at micro level, thus realizes the unification of the quantitative structure and the spatial configuration optimal. The study supported a new way to solve the key technical problem in land use programming in China.

Key Words: land use structure optimal, multi-criterion decision making, linear planning, cellular automata, GIS, Tianshui

封面照片说明: 雁门沟峡谷

雁门沟位于四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县雁门乡,处于汶川县东北部,发育于龙门山西坡,为岷江上游左侧支流,流向由东南向西北;沟口与岷江交汇处海拔约 1 352 m,流域最高点光光山海拔 4 632 m,相对高度达 3 280 m,流域中游出露着较大面积的震旦系上统灯影组(Zbdn)地层,岩性主要为块状~厚层状白云岩、薄~中层硅质岩,岩石坚硬,经流水下切和崩塌作用后,形成两岸壁立的深切峡谷地貌。有关该沟的其他相关情况,请见本刊 454~458 页。

(山水)