

朱小林,郭青霞. 基于 CLUE-S 模型的土地利用空间格局情景模拟——以忻州市忻府区为例[J]. 江苏农业科学,2020,48(4):254-259.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.04.046

基于 CLUE-S 模型的土地利用空间格局情景模拟 ——以忻州市忻府区为例

朱小林,郭青霞

(山西农业大学资源环境学院,山西晋中 030801)

摘要:以山西省忻州市忻府区为研究区域,选取海拔、坡度、距公路的距离、距铁路的距离等 10 个驱动因子,基于忻府区 2000 年土地利用现状数据,运用 CLUE-S 模型对 2016 年的土地利用变化格局进行模拟,通过对比分析发现,模拟效果较好。在此基础上,通过设置自然增长、耕地保护、生态保护 3 个情景对 2025 年忻府区土地利用分布格局进行预测。结果表明,自然增长情景下,建设用地面积扩张,扩张面积主要围绕着中心城区。耕地保护情景下,耕地稳定性较高,集中连片分布,耕地数量也较自然增长情况下得到了相应的上升;由于西北方向地势高,不利于浇灌,所以耕地分布较少。生态保护情景下,林地和草地得到较好的保护,草地在空间上呈现集中连片特征;林地分布比较分散,但大部分也集中在西部区域;地势较高的区域耕地逐渐退为林地和草地;生态保护情景下选取的景观指数聚合度和蔓延度都是最高的。研究结果可以为管理部门对未来土地可持续利用和土地管理提供一定的参考。

关键词:土地利用变化;CLUE-S 模型;Logistic 回归模型;情景模拟;忻州市忻府区

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)04-0254-06

土地利用/覆被变化(LUCC)已变成全球环境变化研究领域的热点问题之一^[1-2],其中土地利用变化的研究具有很大的现实意义。土地利用变化是一个复杂的过程,是受自然、社会、经济等因素在不同的时间、空间尺度上相互作用形成的^[3]。土地利用变化模型是深入了解土地利用变化过程、机制和环境影响的重要手段。利用模型可以很好地分析土地利用变化和驱动因素的定量关系,可以模拟预测不同情景下土地利用变化^[4-6],为未来土地利用规划和城市管理提供科学依据。

目前国际上比较成熟的土地利用变化模型有元胞自动机(CA)模型^[7]、马尔科夫(Markov)^[8]系统动力学(SD)模型^[9]、CLUE-S 模型、Agent-based 模型^[10]。CLUE-S 模型是一种用于小尺度研究土地利用变化的动态模型,不仅可以考虑地形、气候、经济等对土地利用格局的影响,还可以设置多种情景对未来土地利用分布格局进行模拟^[11]。CLUE-S 模型作为经验统计模型的代表,具有较好

的可信度和解释能力,已被广泛应用于土地利用变化研究^[12-15]。在国内,CLUE-S 模型最早被张永民等应用于内蒙古荒漠区域的土地利用时空动态变化模拟研究^[16],取得了良好的模拟精度。自此,CLUE-S 模型在我国各个地区被广为应用,并且都取得了较好的模拟效果^[17-20]。

本研究以山西省忻州市忻府区为研究区域,综合考虑区域特征和相关发展战略,设置自然增长、耕地保护、生态保护 3 个情景,借助 CLUE-S 模型对 2025 年忻府区土地利用格局进行预测,以期为该区域土地资源可持续利用提供技术依据,为相关管理部门土地利用规划和管理提供参考依据。

1 研究区概况

忻府区属于山西省忻州市,位于山西省北中部,是忻州市委、市政府所在地。地理位置位于 38°13'~38°41'N,112°17'~112°58'E,东连定襄县,西邻静乐县,南靠阳曲县,北临原平市,区域总面积 1 987 km²,距离省会城市太原 75 km。忻府区所处位置为忻定盆地的主体部分,地形西高东低,逐步倾斜,北、西、南三面环山,东部开阔平坦。忻府区属于季风型大陆性气候,夏季多东南风,冬季多西北风。忻府区处在太原都市圈的拓展圈层范围内。太原都市圈这一区域是山西“省域经济与社会事业

收稿日期:2019-06-11

基金项目:山西农业大学学术骨干项目(编号:xg201216)。

作者简介:朱小林(1994—),女,山西忻州人,硕士研究生,研究方向为土地利用与规划。E-mail:1837884296@qq.com。

通信作者:郭青霞,博士,教授,硕士生导师,研究方向为土地利用与规划、土地信息技术。E-mail:gxq696@163.com。

最为发达的核心区域”和“最为重要的城镇密集地区”^[21]。近年来,忻府区经济强势崛起,发展迅速,各个方面都取得了不错的成就,现已成为山西省综合发展的新兴市辖区^[22]。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源与处理

本研究分析的土地利用数据来源于 2000 年和 2016 年 2 期土地利用现状矢量数据,遥感数据来源于地理空间数据云,社会经济数据来源于 2000—2016 年《忻府区统计年鉴》。根据忻府区土地利用特点,参照 GB/T 21010—2007《土地利用现状分类》以及 CLUE-S 模型对于每种地类面积必须大于研究区总面积 1% 的要求,将研究区土地利用类型划分为耕地、草地、林地、城乡建设用地、未利用地。

本研究选取了高程、坡度、距城市的距离、距村庄的距离、距建制镇的距离、距铁路的距离、距公路的距离、距水域的距离、人口密度、人均粮食产量等 10 个驱动因子作为忻府区土地利用格局变化的主要驱动因子。其中高程、坡度因子来源于 DEM 数据,距离因子是通过对公路、铁路、城市、建制镇、村庄、水域的距离数据在 ArcGIS 10.0 平台下进行欧式距离转换得到的。人口密度和人均粮食产量这 2 个社会经济指标是将经济因子赋值于研究区各乡镇,再将其转换为栅格数据得到。在 ArcGIS 10.0 平台下,将忻府区相应驱动因子图层都转化成 300 m×300 m 的栅格图层。

2.2 研究方法

2.2.1 CLUE-S 模型原理 CLUE-S 模型是荷兰瓦赫根宁大学 Verburg 等专门开发用于小尺度范围内土地利用变化的模型,CLUE-S 模型将生物物理驱动因子与社会经济因子相结合,并且具有反映区域土地利用时空变化的能力^[23]。CLUE-S 模型认为,一个区域的土地利用变化受其土地利用需求数量的影响,并且以其土地利用分布格局与其土地利用需求数量、自然环境、社会经济状况保持平衡为前提。CLUE-S 模型需要输入的数据包括:政策限制区域、土地利用转移规则、土地利用类型面积需求量、土地利用类型空间分析。

2.2.1.1 政策限制区域 本研究未对区域做政策限制的设置,因此假设区域所有面积都可以发生变化。

2.2.1.2 土地利用转移规则 土地利用转移规则

包括土地利用类型转移矩阵和转移弹性系数(ELAS)。土地利用类型转移矩阵表示研究区各土地利用类型之间是否会相互转变,1 表示可以发生改变,0 则表示不能发生变化。本研究结合忻府区土地利用现状以及未来土地利用类型的发展变化,对其设置(表 1)。

表 1 土地利用类型转移矩阵

地类名称	草地	城乡建设用地	耕地	林地	未利用地
草地	1	1	1	1	1
城乡建设用地	0	1	0	0	0
耕地	1	1	1	1	1
林地	1	1	1	1	1
未利用地	1	1	1	1	1

土地利用转移弹性系数表示土地利用类型的稳定程度,取值介于 0~1 之间,值越大,表示用地类型越不易转变为其他地类。目前对 ELAS 的设置没有精确的算法,需要研究者根据研究区的实际情况以及参考前人研究来确定^[24-25]。本研究结合忻府区各种土地利用类型转移情况以及相关研究进行设置(表 2)。

表 2 土地利用转移弹性系数

地类名称	草地	城乡建设用地	耕地	林地	未利用地
ELAS	0.45	1.00	0.75	0.60	0.10

2.2.1.3 土地利用类型需求 土地利用类型需求量须借助独立于 CLUE-S 模型之外的其他方法求得,通常有趋势外推法、线性内插法、Markov 模型等一系列算法。在本研究中,将 2000—2016 年现有土地利用现状数据进行内插,假设忻府区土地利用现状变化幅度为线性变化,并通过趋势外推法得到 2025 年各土地利用类型的面积。

2.2.1.4 土地利用类型空间分析 二元 Logistics 方法常常被运用到土地变化研究中,在 CLUE-S 模型中,运用 Logistic 逐步回归分析方法来分析各土地利用类型的空间分布与驱动因素之间的关系。

$$\log \left\{ \frac{P_i}{1 - P_i} \right\} = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \cdots + \beta_n X_{n,i} \quad (1)$$

式中: P_i 表示每一个栅格可能出现某种土地利用类型 i 的概率; $X_{1,i} \sim X_{n,i}$ 表示某种土地利用类型 i 相关的驱动因素; $\beta_0 \sim \beta_n$ 为驱动因素的回归系数。

2.2 CLUE-S 模型空间模拟

CLUE-S 模型的空间模拟是基于各土地利用

相互转化规则、土地利用空间分布概率、土地利用现状图以及各土地利用类型的面积需求,根据总概率对土地利用需求进行空间分配迭代的过程,迭代方程为

$$TPROP_{i,u} = P_{i,u} + ELAS_u + ITER_u。$$
 (2)

式中: $TPROP_{i,u}$ 为栅格 i 中土地利用类型 u 的总概率; $P_{i,u}$ 为 Logistic 回归方程土地利用类型 u 的空间分布概率; $ELAS_u$ 为土地利用类型 u 的转换弹性系数; $ITER_u$ 为土地利用类型 u 的迭代变量。

2.3 CLUE - S 模型检验

CLUE - S 模型的检验是由 2 个部分组成:(1) 采用受试者工作特征 (ROC) 曲线来验证用回归方程计算出的类概率分布格局与实际地类分布之间

的一致性。ROC 值介于 0.5 ~ 1.0 之间,一般来说,ROC 值越接近 1,表示一致性越好。根据 Logistic 模型的一般要求,ROC 系数 >0.7 才符合概率分布要求。(2) Kappa 系数检验,当 Kappa > 0.75 时,CLUE - S 模型的预测精确度较高;当 $0.4 \leq Kappa \leq 0.75$ 时,认为模拟的效果一般;当 Kappa < 0.4 时,认为模拟的效果较差。

3 结果与分析

3.1 土地利用转移矩阵

运用 ArcGIS 10.0 将 2000 年和 2016 年 2 期土地利用现状数据进行叠加分析,得到忻府区 2000—2016 年的土地利用转移矩阵(表 3)。

表 3 2000—2016 年忻府区土地利用转移矩阵							hm ²
2000 年	2016 年						
	草地	城乡建设用地	耕地	林地	未利用地	总计	
草地	414.58	4.30	62.05	109.06	7.96	597.94	
城乡建设用地	0.32	64.80	2.26	0.34	0.20	67.91	
耕地	196.35	66.57	627.57	90.51	17.68	998.69	
林地	78.95	5.39	26.17	160.96	4.13	275.58	
未利用地	14.84	3.50	10.18	3.88	14.76	47.16	
总计	705.03	144.55	728.23	364.74	44.73	1 987.28	

表 3 为 2000—2016 年期间忻府区 5 种土地利用类型的转入转出情况。其中变化较明显的地类为耕地、草地、林地、城乡建设用地。2000—2016 年间耕地面积总体上不断减少,主要转变为草地、林地、城乡建设用地。草地面积总体呈增加趋势,转入面积主要来源于耕地和林地,2000—2016 年间 196.35 hm² 耕地转为草地。林地面积总体呈增加趋势,转入面积主要来源于草地和耕地。但是明显看到,林地转为草地的面积远远小于草地转为林地的面积,因此有关部门应该考虑是否存在不合理的

土地利用方式,并进行合理的规划。城乡建设用地面积总体呈增加趋势,转入面积主要来源于耕地,有关部门应该合理开发其他后备资源,防止优质耕地转为建设用地。

3.2 土地利用需求数量预测

不同情景下,对各种土地利用类型的需求数量也是不同的,本研究中设置了自然发展、耕地保护、生态保护 3 个情景,根据现有土地利用类型的需求数量,对不同情景下忻府区 2025 年土地利用类型的需求数量预测如表 4 所示。

表 4 2025 年忻府区土地利用面积预测结果						
情景	2005 年预测面积(hm ²)					
	草地	城乡建设用地	耕地	林地	未利用地	
自然发展	772.3	187.9	563.7	418.5	44.6	
耕地保护	691.4	126.7	792.1	349.7	27.1	
生态保护	780.3	145.1	602.6	430.1	28.9	

3.3 Logistic 回归模型分析结果

忻府区各地类空间分布概率模拟效果较好,草地、城乡建设用地、耕地、林地、未利用地的 ROC 值均大于 0.7,说明所选取的驱动力因子与各地类间的相关性较好,满足回归模型的拟合效果,可用于

模拟研究区土地利用空间分布(表 5)。

3.4 模拟结果检验

运用 CLUE - S 对模拟结果进行检测,将忻府区 2016 年土地利用实际情况与模拟情况比对,检验模拟精度。Kappa 系数的计算如下:

表 5 忻府区各土地利用类型的 Logistic 回归分析结果

驱动因子	β 值				
	草地	城乡建设用地	耕地	林地	未利用地
坡度	0.129 59	-0.165 25	-0.247 68	0.034 83	0.118 25
高程	0.001 79	-0.006 53	-0.007 66	0.002 37	-0.005 5
距城市的距离	0.000 03	-0.007 86	0.000 15	—	—
距村庄的距离	0.000 08	-0.005 15	0.002 58	0.000 18	0.000 91
距建制镇的距离	—	-0.000 11	0.000 03	—	—
距水域的距离	0.000 03	0.000 07	—	—	0.001 34
距公路的距离	—	0.000 03	—	0.000 01	0.000 09
距铁路的距离	—	-0.000 01	0.000 04	0.000 01	-0.000 05
人口密度	-0.158 97	0.041 96	-0.029 98	-0.074 92	—
人均粮食产量	—	-0.397 13	-1.839 32	—	—
常数	-2.601 25	1.166 57	7.037 24	-2.514 1	-0.081 59
ROC 值	0.805	0.937	0.88	0.723	0.785

注：“—”表示未通过显著性检验($P<0.05$)

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{P_p - P_c} \quad (3)$$

式中： P_p 为理想情况下的准确比值，值为 1； P_c 为在随机情况下的期望比值； P_0 为正确模拟的比例。

用 2000 年的数据模拟 2016 年的土地利用情况，总栅格数为 22 077，其中正确的栅格数为 18 492，正确模拟比例为 83.76%，研究区域分为 5 种土地利用类型，在随机情况下期待比值 P_c 为 1/5，可得出 Kappa 值 (0.797) > 0.75，说明模型模拟效果较好，CLUE-S 模型能较好地对未来土地利用变化进行预测。

3.5 忻府区未来土地利用情景模拟

基于 CLUE-S 模型取得了较好的模拟效果，本研究对 2025 年忻府区设置了自然增长、耕地保护、生态保护 3 个情景，从多个可能出现的方面对未来忻府区土地利用分布格局进行模拟 (图 1)。

(1) 自然增长情景下，各种土地利用类型的变化与 2000—2016 年保持一致，可以看出中心城区的建设用地面积在扩张，其扩张面积主要来自占用的耕地，长此以往下去，可能会带来粮食安全的问题。

(2) 耕地保护情景下，由于限制了耕地被其他地类占用，从而增加了耕地的稳定性，耕地数量也较自然增长情况下得到了相应上升，可以看出耕地是集中连片的分布，这样可以保证优质耕地不被破坏。由于西北方向地势高，不利于浇灌，所以耕地分布较少。在耕地保护情景下可以使耕地的保有量得到很好的保证。

(3) 生态保护情景下，提高了林地、草地的稳定

性。草地作为忻府区主要地类之一，主要分布在西部区域，在空间上呈现集中连片特征；林地分布比较分散，但大部分也集中在西部区域；耕地继续保持稳定，地势高的区域退耕为林地和草地。

3.6 模拟结果景观评价分析

为了对比分析 3 种情景下的土地利用空间格局在景观水平上的差异状况，本研究选取了聚合度和蔓延度 2 个景观格局指数。聚合度反映了景观中不同土地利用类型的聚合程度，聚合度高表明斑块分布集中，反之说明其呈分散状态。蔓延度反映的是景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势，蔓延度越高表示土地利用类型在空间上的连通性越好，反之景观越破碎。由忻府区 3 种情景模拟图的景观指数可以看出，生态保护情景下土地利用空间格局的聚合度和蔓延度最大，表明该情景下土地利用类型集中且连通性最好；自然增长情景与耕地保护情景下的土地利用格局的空间异质性较强，各地类土地空间分布较零散 (图 2)。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究以忻府区为研究区域，应用小尺度区域土地利用变化模拟的 CLUE-S 模型，综合考虑自然地理因素和社会经济因素，运用 Logistic 回归模型计算出忻府区各地类与驱动因子的回归方程，且所选的驱动因子 ROC 值均大于 0.7，说明所选取的驱动因子可以较好地解释各类土地利用类型的空间分布，通过对 2016 年实际的土地利用现状的验证，其

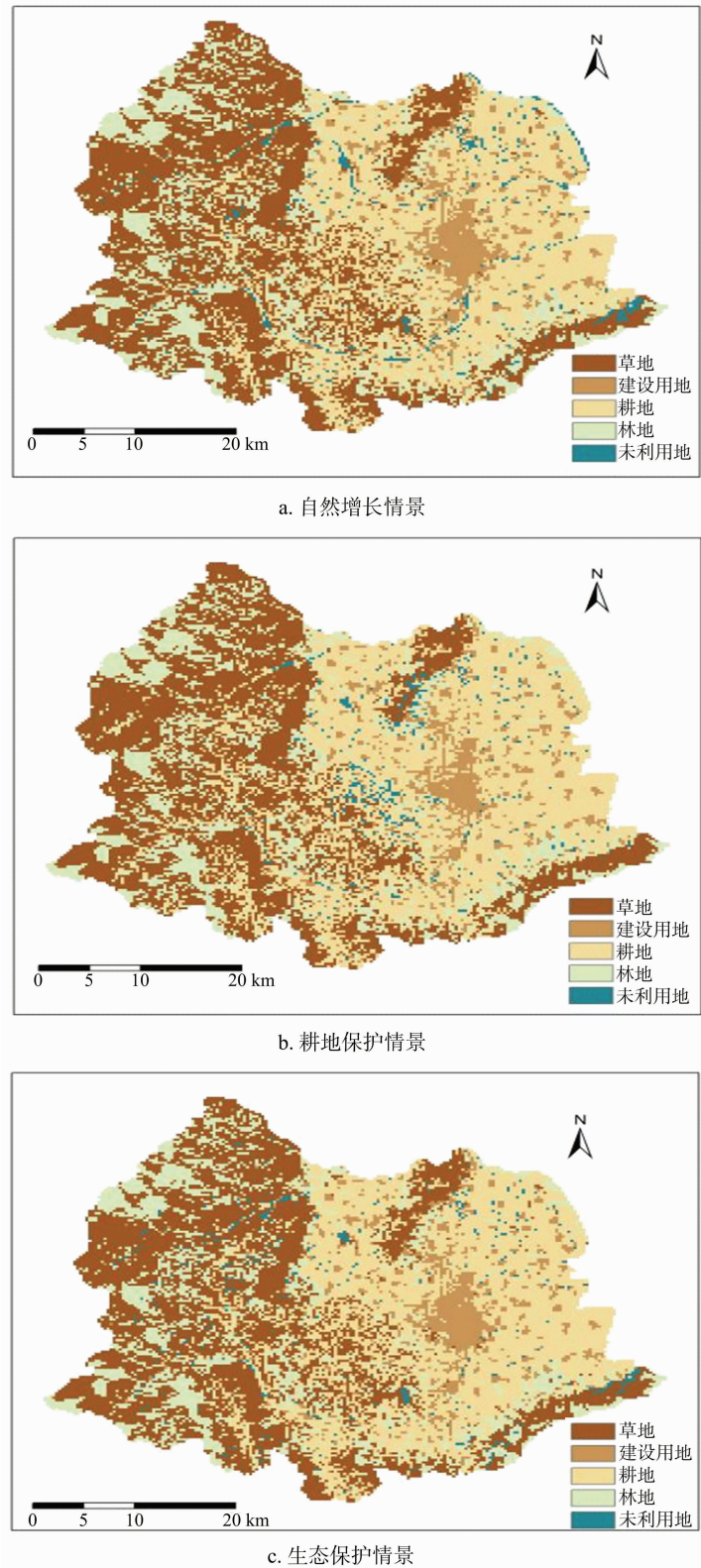


图1 2025 年忻府区 3 种情景下土地利用空间布局模拟

Kappa 指数大于 0.75,说明 CLUE - S 模型可以用于对忻府区未来土地利用空间分布格局进行模拟预测。

通过设置自然增长、耕地保护、生态保护 3 个情

景对忻府区未来土地利用分布格局模拟预测,这些方案具有客观性,可以为忻府区未来土地利用规划修编和城市规划提供参考。通过对比分析,未来中心城区附近是土地利用变化发生的“热点区域”,中

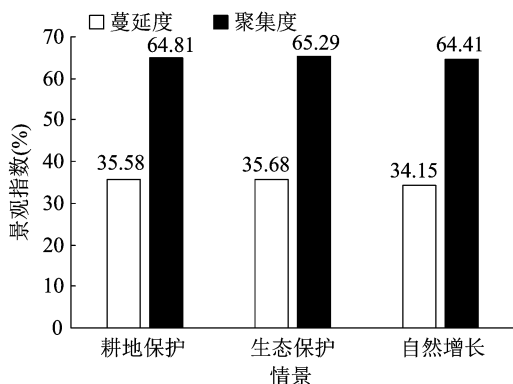


图2 忻府区 3 种情景模拟图的景观指数

心城区附近除了有建设用地,也存在大量的耕地,在抓发展的同时要保证粮食安全,这就需要管理者严格执行“十分珍惜、合理利用土地,切实保护耕地”的基本国策,对建设用地的增长速度合理控制,提高建设用地的集约力度。经济发展的同时也应该保护生态环境,生态环境的优劣决定人们幸福指数的高低,所以严格遵守“生态红线”,维护区域内生态环境不受破坏,使“美丽忻府”圆梦成功。

4.2 讨论

由于收集资料的限制,本研究从已有的资料中结合了自然和社会经济因素,虽然所选取的因素具有较好的解释能力,但是不够全面,可能影响预测的精度,在今后的研究中,应该尽可能多地选择驱动因子,从而更高地提高模型的精度。

对于 CLUE-S 模型的参数设置部分,特别是土地利用转移弹性 (ELAS) 对模拟结果影响较大。本研究针对土地转移弹性设置主要是结合已有相关文献和研究区土地利用变化情况,进行一步一步调试,最终确定下来。在未来的研究中如果能找到参数与模拟结果的相关性,并将其定量化,定能提高模型的精度。

参考文献:

- [1] Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model [J]. *Environmental Management*, 2002, 30(3): 391-405.
- [2] 蔡玉梅, 刘彦随, 宇振荣, 等. 土地利用变化空间模拟的进展——CLUE-S 模型及其应用[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(4): 63-71, 115.
- [3] 盛 晟, 刘茂松, 徐 驰, 等. CLUE-S 模型在南京市土地利用变化研究中的应用[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(2): 235-239.
- [4] 蔺 卿, 罗格平, 陈 曦. LUC 驱动力模型研究综述[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(5): 81-89.
- [5] 张 叶, 江晓波, 邱 枫. LUC 模型研究综述[J]. *资源开发与*

市场, 2006(4): 311-314.

- [6] 王 丽, 钱乐祥. 土地利用/土地覆被变化模型方法分析[J]. *信阳师范学院学报(自然科学版)*, 2004, 17(3): 302-307.
- [7] 周嵩山, 李红波. 元胞自动机 (CA) 模型在土地利用领域的研究综述[J]. *地理信息世界*, 2012, 10(5): 6-10, 13.
- [8] 陆汝成, 黄贤金, 左天惠, 等. 基于 CLUE-S 和 Markov 复合模型的土地利用情景模拟研究——以江苏省环太湖地区为例[J]. *地理科学*, 2009, 29(4): 577-581.
- [9] 何春阳, 史培军, 陈 晋, 等. 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[J]. *中国科学(D 辑)*, 2005, 35(5): 464-473.
- [10] 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.
- [11] 吴健生, 冯 喆, 高 阳, 等. CLUE-S 模型应用进展与改进研究[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(1): 3-10.
- [12] 许小亮, 李 鑫, 肖长江, 等. 基于 CLUE-S 模型的不同情景下区域土地利用布局优化[J]. *生态学报*, 2016, 36(17): 5401-5410.
- [13] 王丽艳, 张学儒, 张 华, 等. CLUE-S 模型原理与结构及其应用进展[J]. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(3): 73-77.
- [14] 卞子浩, 马小雪, 龚来存, 等. 不同非空间模拟方法下 CLUE-S 模型土地利用预测——以秦淮河流域为例[J]. *地理科学*, 2017, 37(2): 252-258.
- [15] 马冰滢, 黄 姣, 李双成. 基于生态-经济权衡的京津冀城市群土地利用优化配置[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(1): 26-37.
- [16] 张永民, 赵士洞, Verburg P H. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(3): 310-318.
- [17] 朱康文, 李月臣, 周梦甜. 基于 CLUE-S 模型的重庆市主城区土地利用情景模拟[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(5): 789-797.
- [18] 王 健, 田光进, 全 泉, 等. 基于 CLUE-S 模型的广州市土地利用格局动态模拟[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(6): 1257-1262.
- [19] 何宝国. 太原都市圈成山西省发展“核”动力[N]. *太原晚报*, 2011-01-12.
- [20] 蒙 菲, 李小丽, 陈笑扬, 等. 基于 CLUE-S 模型的长沙市望城区土地利用变化预测[J]. *地理信息世界*, 2018, 25(2): 72-77, 84.
- [21] 裴 刚. 忻州市忻府区土地利用/覆被格局的模拟及应用[D]. 临汾: 山西师范大学, 2013.
- [22] 摆万奇, 张永民, 阎建忠, 等. 大渡河上游地区土地利用动态模拟分析[J]. *地理研究*, 2005, 24(2): 206-212.
- [23] 许月卿, 罗 鼎, 郭洪峰, 等. 基于 CLUE-S 模型的土地利用空间布局多情景模拟研究——以甘肃省榆中县为例[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2013, 49(3): 523-529.
- [24] 谢 莹, 匡鸿海, 吴晶晶, 等. 基于 CLUE-S 模型的重庆市渝北区土地利用变化动态模拟[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(11): 1729-1737.
- [25] 吕苗苗. 基于 CLUE-S 模型的土地利用空间格局情景模拟研究[D]. 西安: 长安大学, 2016.