

岳智慧,王玉贵,任平. 基于 GIS 与 CLUE-S 模型的土地利用/覆被变化模拟——以成都市龙泉驿区为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(24): 291-294,307.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.078

# 基于 GIS 与 CLUE-S 模型的土地利用/覆被变化模拟——以成都市龙泉驿区为例

岳智慧<sup>1,2,3</sup>, 王玉贵<sup>1,2</sup>, 任平<sup>1,2</sup>

(1. 四川师范大学地理与资源科学学院, 四川成都 610101; 2. 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, 四川成都 610068;

3. 四川大学建筑与环境学院, 四川成都 610065)

**摘要:** 基于研究区数字高程以及 2005、2014 年 2 期土地利用数据, 首先运用 Logistic 回归模型甄选出最佳模拟尺度, 然后将 Markov 模型与 CLUE-S 模型相结合, 对研究区土地利用/土地覆被变化(LUCC)进行了模拟预测, 设计了自然增长、基本农田保护、生态保护 3 种未来研究区 LUCC 发展情景, 并系统分析了在不同情境下的土地利用/土地覆被变化时空特征。研究表明: (1) 模拟结果 Kappa 精度值较高, CLUE-S 模型对龙泉驿区土地利用/土地覆被变化模拟效果良好; (2) Markov 模型与 CLUE-S 模型的结合应用, 克服了单一模型的弊端, 使土地利用变化在时间和空间上得到优化; (3) 不同的情境下, 建设用地都保持着增长的态势, 以侵占大量园地为代价, 区域中部和西部地带的城市周边地区在未来将是土地利用/土地覆被变化的热点地区; (4) 根据不同情境的相似特征, 可将研究区划分为三类地区, 并依据每类区域特征提出了相应的土地利用建议。

**关键词:** LUCC; CLUE-S 模型; 时空格局模拟; 情境; 龙泉驿区

**中图分类号:** F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0291-04

土地是宝贵的自然资源, 是人类赖以生存的物质财富。随着人类社会的进步, 土地覆被发生着日新月异的变化, 土地问题日益凸显。从已有研究经验看, 大尺度研究能从宏观上把握区域总体 LUCC 状况, 而微观尺度研究则能更细腻地展现 LUCC 动态过程。因此, 在进行大区域研究的同时, 还应加强中、小尺度的土地利用研究, 这样才能在 LUCC 研究领域取得更为长足的进步。CLUE-S 模型运用系统论原理, 相对于其他模型具有更强大的时空动态变化模拟能力<sup>[1-2]</sup>。该模型在国内大多被应用于东部经济发达区以及生态环境脆弱敏感区, 而对地貌类型较为复杂的地区研究较少。龙泉驿区位于成都平原东缘, 地貌类型复杂, 近年来, 随着龙泉驿区土地资源得到进一步开发, 这必然带来许多的土地问题, 以这个地区为例开展 LUCC 研究具有重大现实意义。

本研究将 Markov 模型与 CLUE-S 模型相结合, 对龙泉驿区未来的 LUCC 状况进行了多情境模拟, 研究结果可为龙泉驿区土地利用规划的编修和城市规划布局提供决策参考依据, 也为今后同类型研究提供方法上的借鉴。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

龙泉驿区位于我国西南地区, 位于成都平原东缘地带, 龙

泉山脉的中段, 是成都市所辖市区之一。区内包含 3 个主要的地貌类型, 分别为山地、丘陵、平坝, 其中平坝为研究区主要的地貌类型。2013 年以来, 龙泉驿区稳居四川省经济十强县第一名。近年来, 快速发展的汽车工业更为龙泉驿区的发展带来了巨大的福利。便捷的交通、发达的产业和优美的自然环境等条件, 必然使得龙泉驿区在将来会获得更好的成绩。

### 1.2 数据来源

本研究所使用的数据包括研究区数字高程模型(DEM)和 2005、2014 年龙土地现状数据。数字高程 DEM 数据来源于地理空间数据云, 2005、2014 年 2 期土地利用数据来源于龙泉驿区国土资源局, 其中 2005 年数据为全国第一次土地调查数据, 而 2014 年数据为全国第二次土地调查变更数据, 故以全国第二次土地调查变更数据为准, 参照全国《土地利用现状调查技术规程》, 并结合龙泉驿区实际情况, 将研究区土地利用类型分为 7 个类别, 分别为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域、其他土地。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 Logistic 回归模型** 在土地利用变化的研究中, CLUE-S 模型可根据 Logistic 回归结果来计算每个栅格单元出现某种土地利用类型的概率, 对其进行空间分配。Logistic 回归模型表达式为<sup>[3-4]</sup>:

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

式中:  $P_i$  表示  $i$  地类出现在栅格上的可能性;  $\beta_0$  为常数项;  $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n$  分别为各驱动因子的 Logistic 回归分析结果中的  $\beta$  系数;  $X_{1,i}, X_{2,i}, \cdots, X_{n,i}$  代表各个驱动因子。

**1.3.2 Markov 模型** 将 Markov 模型应用于土地利用数量变

收稿日期: 2017-07-21

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41301196)。

作者简介: 岳智慧(1991—), 男, 四川眉山人, 博士, 主要从事土地利用及环境生态学研究。E-mail: 506126778@qq.com。

通信作者: 任平, 博士, 教授, 主要从事国土资源管理和生态环境效应研究。E-mail: 115817780@qq.com。

化的模拟,相对于线性内插法更接近于土地利用需求数量的实际情况<sup>[5]</sup>。Markov 模型与 CLUE-S 模型的结合应用,克服了单一模型的弊端,使土地利用变化在时间和空间上得到优化,其表达式为:

$$P_n = P_{n-1}P_{ij\circ} \tag{2}$$

式中: $P_n$  和  $P_{n-1}$  表示第  $n$  和  $n-1$  的时间点土地利用转移状态; $P_{ij}$  为土地利用转移概率矩阵。

1.3.3 CLUE-S 模型 CLUE-S (The Conversion of Land Use and Its Effects at Small Region Extent) 模型由荷兰 Wageningen 大学学者开发,应用于区域土地利用变化的模拟,经改进后的模型比较适合中小尺度的 LUCC 模拟分析<sup>[6]</sup>。

1.3.3.1 驱动因子选取 本研究根据 CLUE-S 模型的驱动因子需求,并结合研究区实际情况,共筛选出影响龙泉驿区土地利用/土地覆被变化的 9 个驱动因子(包括数字高程、坡度、坡向、距河流的距离、距坑塘水库的距离、距农村道路的距离、距农村居民地距离、距主要城镇距离、距工矿用地距离等)。

1.3.3.2 模拟尺度甄选 本研究共选取了 8 种研究尺度进行回归分析,通过对不同尺度下的 Logistic 回归结果进行 ROC 检验,甄选出最佳模拟尺度。

1.3.3.3 土地利用需求 土地利用需求是通过模型外的一些数学等方法被计算出来,在模拟过程中用于限定土地利用类型的面积数量。基于已有的 2 期土地利用数据,应用 Markov 模型可以得到龙泉驿区 2005—2014 年每一年各个地类的土地需求面积。

1.3.3.4 转换矩阵 在土地利用类型的转换当中,特定区域转换成其他地类的难度较高<sup>[7-8]</sup>。根据龙泉驿区历史土地利用转换情况和实地调研,设置了本研究所需 1 的转移矩阵。

1.3.3.5 ELAS 稳定性参数 由于各地类之间转换稳定性程度具有差异,根据龙泉驿区发展特点、历史数据等设定了较为合理的 ELAS 参数值(表 1)。

表 1 龙泉驿区各地类转换 ELAS 参数

地类编码	土地利用类型名称	ELAS 参数
0	耕地	0.7
1	园地	0.6
2	林地	0.8
3	草地	0.55
4	建设用地	0.9
5	水域	0.7
6	其他土地	0.3

1.3.3.6 模拟精度检验 采用正确栅格比例和 Kappa 指数来测算模拟结果的精度,其中正确栅格比例以正确的栅格数目百分比表示。Kappa 指数作为一种 RS 影像分类精度的评价指标,可以定量反映模拟效果,也可以用来评价 2 幅图的一致性<sup>[9]</sup>,其运算公式为:

$$Kappa = (P_0 - P_c) / (P_p - P_c) \tag{3}$$

式中: $P_0$  为正确栅格数目比例, $P_c$  为随机情况下期望的正确模拟比例, $P_p$  为最为理想的模拟状态。

1.4 情境设计

情境分析由 Pier Wark 在 1972 年提出,指事物在未来的不同条件下的发展态势<sup>[10]</sup>,本次情境模拟基于龙泉驿区土地利用自然发展态势、基本农田保护和生态保护视角,通过调整 Markov 转移概率矩阵和模型参数,设计了研究区未来 LUCC 3 种发展情境。

1.4.1 自然增长情境 该情境假设研究区的土地利用/土地覆被变化完全不受任何政策因素的影响,土地需求按照上一时期的土地利用转移概率矩阵的模式而变化。

1.4.2 基本农田保护情境 参考龙泉驿区土地利用总体规划中关于严格保护耕地、基本农田保护和控制建设用地规模的相关政策,对 Markov 转移概率进行相应的调整,调整后的结果表明,耕地向建设用地的转移概率由 11.08% 下降至 6.03%,下降幅度为 45.58%;园地向建设用地的转化率由原来的 15.13% 下降至 9.8%,下降幅度为 35.23%。

1.4.3 生态保护情境 该情境强调了林地、草地和水域等生态用地的保护。该情境的意义在于对区域的生态环境的改善和维护,保障区域的生态安全。基于以上考虑,本情景设置将适当地调整林地、草地和水域的转移概率。

2 结果与分析

2.1 研究尺度拟合度检验

对不同尺度下 Logistic 回归结果的评价采用 ROC 验证,ROC 值越大的尺度,其模拟效果越好(表 2)。ROC 检验结果表明,60 m×60 m 的研究尺度 ROC 值相对较为理想(图 1),故将 60 m 作为本研究的最佳模拟尺度。

2.2 不同情境下 LUCC 时空特征

基于以上情境设计,将不同的情境设计应用到 CLUE-S 模型中,最终模拟得到 3 种不同情境下龙泉驿区 2020 年土地利用状况数据。

2.2.1 自然增长情境 自然增长情境下,从 2014—2020 年,各土地利用类型的变化存在着巨大的差异,变化幅度从大到

表 2 2005 年不同研究尺度下 Logistic 回归分析 ROC 值对比

研究尺度 (m×m)	ROC 值						
	耕地	园地	林地	草地	建设用地	水域	其他土地
30×30	0.712	0.639	0.901	0.828	0.836	0.835	0.665
45×45	0.711	0.648	0.888	0.847	0.835	0.831	0.612
60×60	0.729	0.664	0.876	0.864	0.869	0.866	0.775
75×75	0.716	0.655	0.887	0.846	0.832	0.791	0.652
90×90	0.712	0.649	0.888	0.878	0.833	0.795	0.711
105×105	0.714	0.658	0.889	0.862	0.831	0.821	0.695
120×120	0.710	0.647	0.895	0.862	0.841	0.818	0.583
135×135	0.709	0.647	0.885	0.852	0.834	0.801	0.551

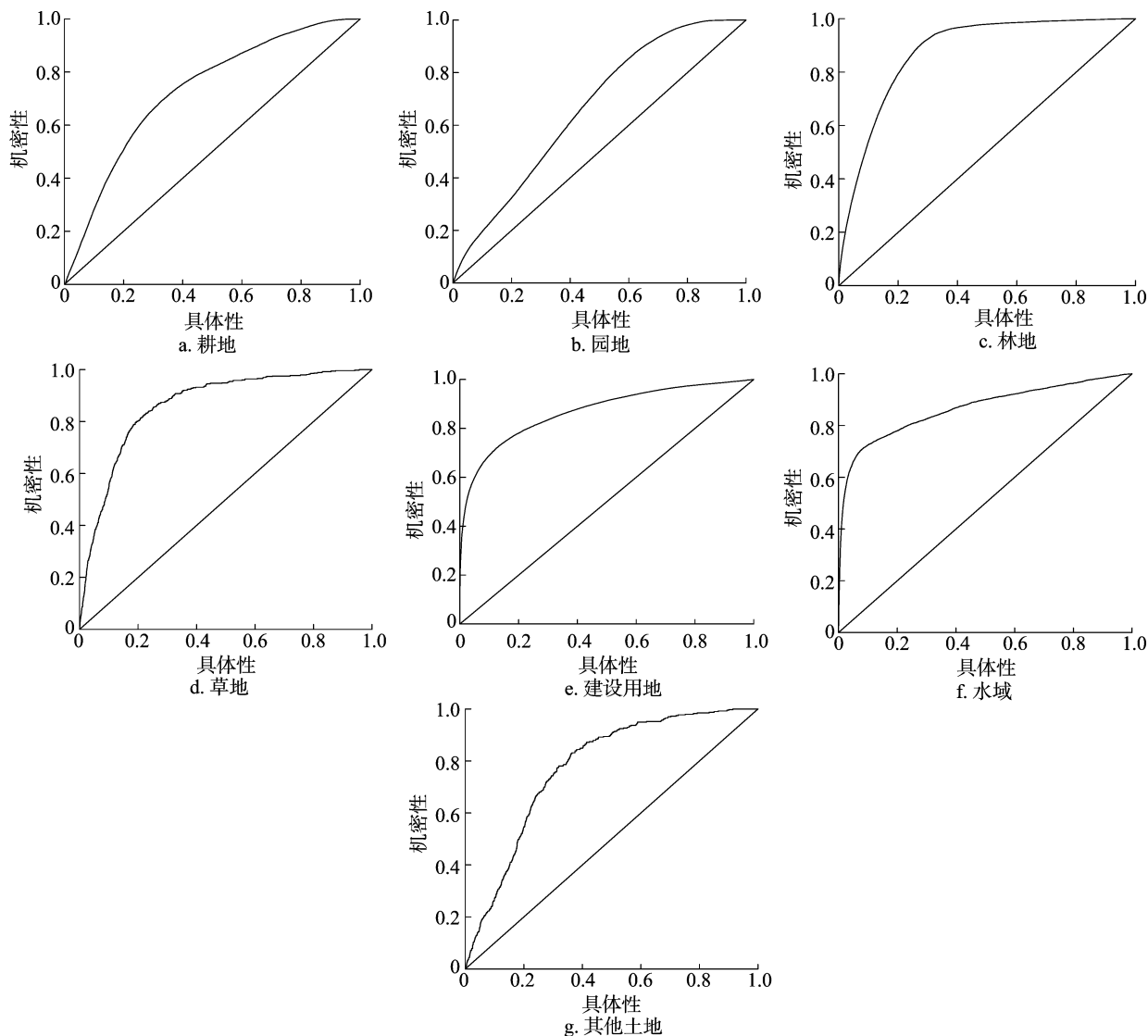


图1 2005 年龙泉驿区 ROC 曲线(60 m × 60 m)

小依次表现为园地 > 建设用地 > 耕地 > 水域 > 林地 > 草地 > 其他土地。在模拟时间段内,园地、建设用地和耕地的变化幅度最大,其他土地利用类型面积都出现了减少的情况,减少幅度较前 3 个地类小。在该情境下,建设用地的扩张较为剧烈,对其四周的土地侵略程度较高,特别是对园地的侵占程度较高(图 2)。

**2.2.2 基本农田保护情境** 基本农田保护情境下,耕地受到有效的保护,基本农田的面积较自然增长情境下有所提升,从空间分布上来看,主要是在原有的农田基础上有所扩张,并且集中分布于区域西部平坝地区,而建设用地向四周扩张的态势则受到明显的抑制(图 3)。

**2.2.3 生态保护情境** 生态保护情境下,林地、草地和水域等生态资源得到强有力的保护,并且数量上在原有的基础上有所增长。该情境相较于其他情境设置,各个地类的变化幅度较小(图 4)。在该情境下,必须全面平衡社会、经济 and 环境保护之间的相互关系,在经济发展的同时,也能保证对生态环境的保护,研究区的生态环境得到了较大程度的优化,有利于改善人们的生活环境,保障区域“青山绿水”式的社会发展。

### 2.3 模拟结果分区

根据不同情境模拟结果的相似特征,将研究区土地利用情况分为三类区域,并根据各自区域的 LUCC 特征,提出相应的土地利用建议。

**2.3.1 中西、中北部平坝区** 该区域以耕地、园地和建设用地为主,地势平坦,经济发展水平是整个龙泉驿区相对较高的区域。该地区的主要问题是,农用地后备资源缺乏,建设用地供需矛盾将更加突出。社会经济发展的阶段性特征表明,由于区域内的工业化和城镇化的快速发展,城镇工矿用地增长,大规模的基础建设还没有全面地发挥其经济效益,同时这些建设用地的扩张还将不可避免地占用部分农业用地,农用地保护将面临较为严峻的形势。解决的主要方向是要加强耕地保护政策的执行力度,划定必要的耕地保护区域,坚决落实“占补平衡”政策,缓和用地矛盾。同时,还应加大对二、三产业的扶持力度,从提高土地利用效益角度来实现对农用地的保护。

**2.3.2 东部山地区** 该地区相对东部平地地势较高,以山地和丘陵地貌为主,主要包含万兴乡、同安街道办事处、洛带镇等乡镇的部分区域。该区域内林地、耕地和园地大量分布,是

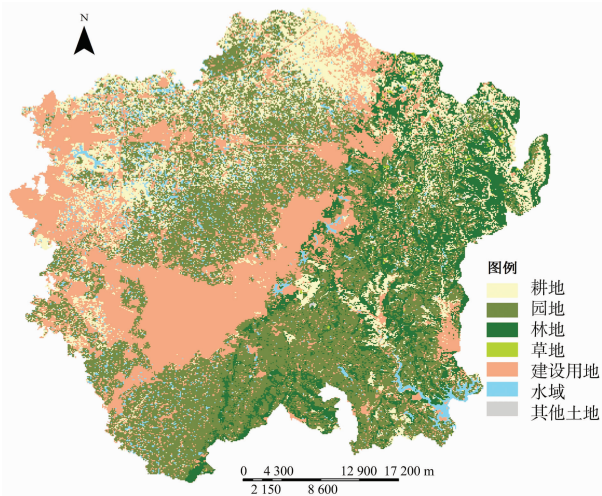


图2 自然增长情境下龙泉驿区 2020 年土地种用状况

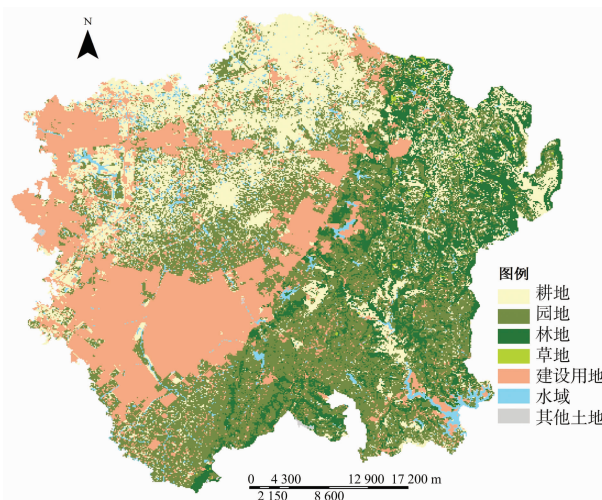


图3 基本农田保护情境下龙泉驿区 2020 年土地种用状况

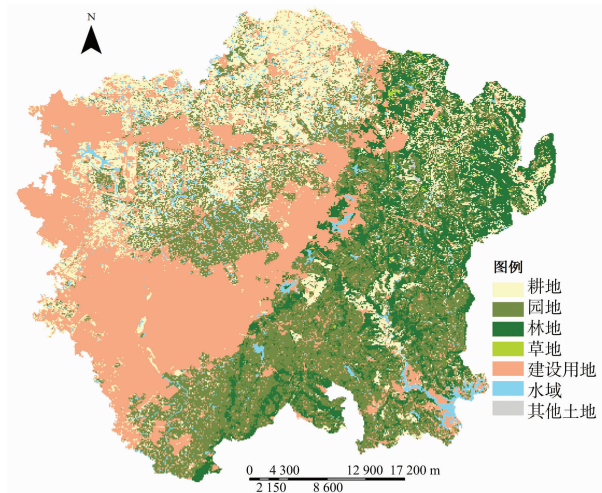


图4 生态保护情境下龙泉驿区 2020 年土地种用状况

整个龙泉驿区经济条件相对较差的区域。该地区存在的问题是农业用地分布较为散乱,破碎化程度较高,粮果争地的问题较为突出。解决该问题的办法是根据当地实际情况,因地制宜地进行土地利用规划,使得耕地、园地等地类能够集中起来,便于山区土地的集中管理,提高土地利用的效率。

2.3.3 东南部浅丘区 该区域位于龙泉山脉中西部,地形以

丘陵为主,包含山泉镇、茶店镇和柏合镇的部分地区,区内土地利用类型中园地、林地和水域分布较广。该地区水果种植较为普遍,水蜜桃、枇杷等水果产量较高,特色农业种植全国闻名。该地区土地利用存在的主要问题是建设用地的分布较为散乱,造成园地的分布没有实现很好的区域规模。解决该问题的办法是,对居民点进行集中整理,实现聚落的集中,使得该区域的耕地和园地发展空间更大,这种模式更有利于该区域特色农业未来的经营与发展。

### 3 结论与展望

#### 3.1 结论

本研究在 SPSS、ArcGIS 软件以及相关数学模型的支撑下,探索了 CLUE-S 模型在龙泉驿区 LUCC 情境模拟预测中的适宜性,构建了 2020 年龙泉驿区不同情境下的土地利用/土地覆被变化状况,并将模拟结果进行了分区。主要结论如下:

3.1.1 模拟尺度的甄选对模拟结果至关重要 本研究在进行模拟尺度的选择时,从  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  的尺度开始,以  $15\text{ m}$  为步长,预先设定了  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 、 $45\text{ m} \times 45\text{ m}$ 、 $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ 、 $75\text{ m} \times 75\text{ m}$ 、 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$ 、 $105\text{ m} \times 105\text{ m}$ 、 $120\text{ m} \times 120\text{ m}$ 、 $135\text{ m} \times 135\text{ m}$  等 8 种研究尺度进行最佳模拟尺度的筛选,最终将较理想  $60\text{ m} \times 60\text{ m}$  作为最佳模拟尺度,使得模拟结果更加接近龙泉驿区土地利用的真实状况。

3.1.2 Markov 模型的应用使得模拟结果更为理想 CLUE-S 模型中缺少对土地利用需求的预测模块,因此需要独立于模型之外的方法来计算土地利用需求,将 Markov 模型与 CLUE-S 模型结合应用,克服了单一模型的弊端,使土地利用变化在时间和空间上得到优化。

3.1.3 不同时期的驱动因子对 LUCC 的影响存在差异 本研究所选取的 9 个驱动因子,在不同的研究时段对各个地类的影响有所差异。以耕地为例,在 2005 年对耕地变化的主要驱动因子为数字高程、坡度、距河流距离和距农村居民地距离,而到了 2014 年距河流距离对耕地变化影响力较 2005 年明显下降。

3.1.4 CLUE-S 模型对龙泉驿区的模拟效果良好 将模拟结果进行 Kappa 检验,结果其精度值达到了 84%,大于 75%,模拟效果较为理想,说明运用 CLUE-S 模型对龙泉驿区未来的土地利用/土地覆被变化的模拟可行性较大。

#### 3.2 展望

对 CLUE-S 模型参数的合理设置对模拟结果的精准度尤为重要,未来的研究将探求更高的模拟精度。本研究最终的模拟精度还不是特别高,在今后的研究中,作者将针对论文还存在不足的地方进行改进,以期得到更好的模拟精度。

土地利用的需求数据是 CLUE-S 模型中非空间模块一个重要内容,它对模拟结果极其关键,但模型本身缺乏对土地利用需求总量的预测功能。本研究对土地利用需求计算是基于 Markov 模型转移矩阵进行的模拟测算,但是真实的土地利用/土地覆被变化是一个极其复杂的系统,受到许多因素的影响,因此,对土地利用需求总量数据的准确获取,是 LUCC 模拟研究领域亟需解决的重点和难点问题,需要所有研究者的共同努力。

(下转第 307 页)

决策者可以根据实际需求来制定相关的发展策略,如未来偏向于经济发展优先型,则可多参考 MAP 情景设计模式,在控制一定的农业环境风险下发展特色经济产业,加快经济发展;如未来偏向于生态环境优先,则可多参考 IWQ 情景的设计路径,在经济、收入稳定发展下提升生态环境质量,完成生态村镇建设;但如在不干预情况下则会出现 NCC 情景的土地利用评价效应结果,因此该评价结果可以起到一定警示作用。基于该评价结果,决策者可以根据实际情况,协调经济、社会、生态之间的关系,共同发展,探寻一种合理可持续的农业发展模式。

#### 参考文献:

- [1] Zhao B Q, Li X Y, Liu H, et al. Results from long-term fertilizer experiments in China: the risk of groundwater pollution by nitrate[J]. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 2011, 58(3): 177 - 183.
- [2] 翁伯琦, 刘朋虎, 张伟利, 等. 农田重金属污染防控思路与技术对策研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(7): 1253 - 1258.
- [3] 王 未, 黄从建, 张满成, 等. 我国区域性水体农药污染现状研究分析[J]. 环境保护科学, 2013, 39(5): 5 - 9.
- [4] 周 亮, 徐建刚, 蔡北溟, 等. 淮河流域粮食生产与化肥消费时空变化及对水环境影响[J]. 自然资源学报, 2014, 29(6): 1053 - 1064.
- [5] 杨 平, 王海燕. 食品安全及其与施肥的关系[J]. 中国农学通报, 2009, 25(3): 49 - 55.
- [6] 石广明, 王金南, 董战峰, 等. 跨界流域污染防治: 基于合作博弈的视角[J]. 自然资源学报, 2015, 30(4): 549 - 559.
- [7] 刘梦霞, 周脚根, 黄 新, 等. 亚热带小流域 COD 负荷及影响因素分析[J]. 农业现代化研究, 2017, 38(1): 168 - 175.
- [8] Bracmort K S, Arabi M, Frankenberger J R, et al. Modeling long-term water quality impact of structural BMPs[J]. Transactions of the ASABE, 2006, 49(2): 367 - 374.

(上接第 294 页)

就 CLUE - S 模型本身而言,它只能识别 ASCII 格式的文件,因此在进行模型的运行过程中,格式转换问题繁杂,容易出现数据处理错误,导致模型运行失败或模拟结果偏差。因此,对于模型今后的开发和应用,统一的文件格式处理功能是重要的发展方向。

#### 参考文献:

- [1] 陈功勋. 基于 CLUE - S 模型和 GIS 的土地利用变化模拟研究[D]. 南京: 南京大学, 2012.
- [2] 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.
- [3] 陈 颢, 林毅伟, 林丽丽, 等. 基于 Markov 和 Logistic 模型的莆田市土地利用变化及林地转出空间模拟[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(2): 87 - 97.
- [4] 王艳东, 高露妹, 王 腾, 等. 基于改进 Markov 算法的人类活动

- [9] Panagopoulos Y, Makropoulos C, Mimikou M. Reducing surface water pollution through the assessment of the cost-effectiveness of BMPs at different spatial scales[J]. Journal of environmental management, 2011, 92(10): 2823 - 2835.
- [10] 张树楠, 肖润林, 余红兵, 等. 水生植物刈割对生态沟渠中氮、磷拦截的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 1066 - 1071.
- [11] Guittonmyphilippe A, Masotti V, Hohener P, et al. Constructed wetlands to reduce metal pollution from industrial catchments in aquatic Mediterranean ecosystems: a review to overcome obstacles and suggest potential solutions[J]. Environment International, 2014, 64(3): 1 - 16.
- [12] 原伟鹏, 王 华, 刘新平, 等. 农户对耕地面源污染的防治意愿及其影响因素——以新疆玛纳斯县为例[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 549 - 553.
- [13] Mariola M J. Farmers, trust, and the market solution to water pollution: the role of social embeddedness in water quality trading[J]. Journal of Rural Studies, 2012, 28(4): 577 - 589.
- [14] 李洪庆, 刘黎明. 标准景观情景方法及其在新农村建设规划中的应用[J]. 农业工程学报, 2016, 32(增刊1): 305 - 311.
- [15] 宫殿林, 洪 曦, 曾冠军, 等. 亚热带典型农业流域河流水质多元线性回归预测[J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33(6): 509 - 518.
- [16] Li H Q, Liu L M, Ji X. Modeling the relationship between landscape characteristics and water quality in a typical highly intensive agricultural small watershed, Dongting lake basin, south central China[J]. Environmental monitoring and assessment, 2015, 187: 129.
- [17] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. World Environment, 1997, 387: 253 - 260.
- [18] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学, 2001, 23(6): 5 - 9.

信息挖掘[J]. 地理空间信息, 2017, 15(2): 1 - 5, 9.

- [5] 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.
- [6] Zhang P, Liu Y H, Pan Y, et al. Land use pattern optimization based on CLUE - S and SWAT models for agricultural non-point source pollution control[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2013, 58(3/4): 588 - 595.
- [7] 梁友嘉, 徐中民, 钟方雷. 基于 SD 和 CLUE - S 模型的张掖市甘州区土地利用情景分析[J]. 地理研究, 2011, 30(3): 564 - 576.
- [8] 曹瑞娜. 基于 GIS 和 CLUE - S 模型的山区土地利用情景模拟研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [9] 李亦秋, 邓 欧, 张冬有, 等. 丹江口库区土地利用及其生态系统服务价值情景模拟[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 329 - 335, 封3.
- [10] 张 欣, 贾红雨, 朱 俊. 港口发展战略情景分析决策支持系统的研究[J]. 大连海事大学学报, 1997, 23(2): 15 - 18.