

文章编号: 1007-7588(2011)09-1699-09

# 基于 CLUE-S 模型框架的土地可持续利用情景预测 ——以阳泉市郊区为例

吴健生<sup>1,2</sup>, 冯 喆<sup>1,2</sup>, 黄 力<sup>1,2</sup>, 高 阳<sup>2</sup>, 彭 建<sup>1,2</sup>, 黄秀兰<sup>3</sup>

(1. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055;

2. 北京大学城市与环境学院资源与环境地理系 地表过程与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;

3. 北京大学深圳研究生院, 深圳 518055)

**摘要:**土地持续利用是区域可持续发展的核心内容与重要基础,提高土地利用效率、优化土地资源配是推动区域经济可持续发展的必要手段。土地利用规划在推动土地资源可持续利用方面发挥了重要作用。在现有土地利用数据的基础上,充分整合自然和社会因素的影响,全面考虑各土地利用类型的供需平衡关系,合理预测未来土地利用变化情景,特别是建立一个开放性的研究框架,是土地利用研究和规划实践中亟待解决的问题。本文以阳泉市郊区为例,提出简化的 CLUE-S 模型研究框架,探讨研究区不同发展路径下的土地利用变化情景,以期土地利用规划提供决策依据。研究表明,在土地利用规划中,耕地优先原则、生态保护原则、效益提高原则依次为发展路径的先后选择顺序。较“生态涵养”及“超速掠夺”路径,“均衡发展”路径安排耕地 1 8131.57hm<sup>2</sup>,安排建设用地 1 4069.40hm<sup>2</sup>,可以满足阳泉市郊区在未来 15 年内粮食自给率上升 27 个百分点,国内生产总值年均增幅达到 13% 的用地需求,为最适宜发展情景。

**关键词:**CLUE-S 模型;土地利用情景模拟;转换系数;阳泉市郊区

## 1 引言

土地利用反映了人类与自然界相互影响与交互作用中最直接和最密切的关系<sup>[1]</sup>,土地利用和覆被变化(Land Use/Cover Change, LUCC)的起因、过程和效应作为景观生态“极重要和颇具挑战性的研究领域之一”<sup>[2]</sup>,多年来一直是国内外研究的热点问题<sup>[3]</sup>。在 LUCC 的研究中,模型是分析和研究土地利用变化趋势和效应的重要工具<sup>[4]</sup>,为国内外研究者所广泛重视<sup>[5]</sup>。回归分析模型<sup>[6]</sup>、Markov 模型<sup>[7]</sup>、CLUE 模型<sup>[8-9]</sup>、GTR 模型<sup>[10]</sup>、CA 模型<sup>[11-12]</sup>、系统动力学模型<sup>[13]</sup>和多智能体模型<sup>[14]</sup>等模型的开发和应用,极大的推进了该领域的研究工作。但由于模型研究本身的理论性较强,在处理纷繁复杂的实际因素,尤其是在综合自然和社会因素就未来土地利用变化进行预测分析时,需要一个具有较强开放性和扩展性的研究框架。

本文以土地利用变化及效应模型(CLUE-S)为

基本研究框架,引入不同的发展路径,对山西省阳泉市郊区 2025 年土地供需情况进行模拟,在土地资源持续利用的县级尺度上的调控方面进行探索,以期在实证研究的基础上,提炼出一个可以广泛覆盖影响土地利用变化的自然和社会因素,并具有较强开放性和扩展性的研究框架,为土地利用规划编制和土地可持续利用情景预测提供理论依据。

## 2 研究区概况和研究方法

### 2.1 研究区概况

阳泉市郊区位于山西省东部,太行山西麓(图 1)。东西长 33km,南北宽 35km。地势西北高,东南低,全为山地丘陵地貌。属暖温带大陆性季风气候,为半湿润区。截止 2009 年,全区农用地面积 4 2312.00 hm<sup>2</sup>,其中耕地面积 1 0627.21 hm<sup>2</sup>,园地 1439.52 hm<sup>2</sup>,林地 2 7651.95 hm<sup>2</sup>;建设用地 9778.35 hm<sup>2</sup>,其中城乡建设用地面积 9074.60 hm<sup>2</sup>,详见图 2。总人口 21.35 万人,2009 年全区实现地区生产总

收稿日期:2011-04-10;修订日期:2011-06-09

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:40801066)。

作者简介:吴健生,男,湖南新化人,副教授,研究方向为城市景观生态和 GIS。E-mail: wujiansheng@szpku.edu.cn

通讯作者:冯喆,E-mail: fengzhe@sz.pku.edu.cn

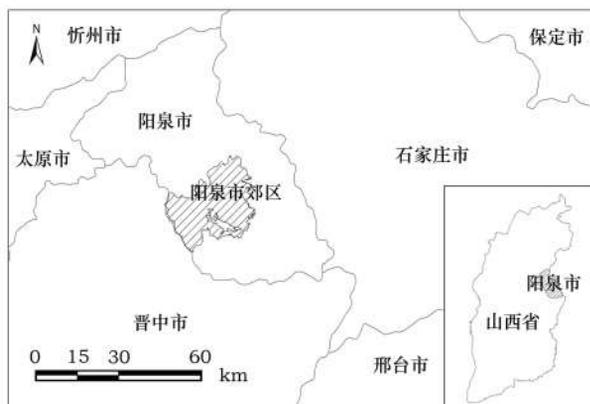


图1 研究区位置示意  
Fig.1 The location of study area

值42.29亿元。

## 2.2 研究方法

土地利用变化及效应模型(Conversion of Land Use and its Effects Model, CLUE Model)由荷兰 Wageningen 大学 Veldkamp 等科学家提出<sup>[15-16]</sup>,并被应用于土地利用变化趋势模拟及政策研究中<sup>[17-18]</sup>。CLUE-S 模型<sup>[19]</sup>(Conversion of Land Use and its Effects at Small Region Extent)是在 CLUE 模型基础上,为在较小尺度上模拟土地利用变化及其环境效应而进行的改进,受到了学界的广泛关注。CLUE-S 模型具有综合性<sup>[20]</sup>、空间性<sup>[21]</sup>等特点,在欧洲<sup>[22]</sup>、拉丁美洲<sup>[23]</sup>、菲律宾<sup>[24-25]</sup>、越南<sup>[26-27]</sup>以及国内多个地区<sup>[28-33]</sup>的研究中得到广泛应用。CLUE-S 模型包括空间分析和非空间分析两个模块。主要步骤如图3所示。

在 CLUE-S 模型基础上,国内外诸多学者对模型进行了改进和应用。如段增强等<sup>[34]</sup>在 CLUE-S 模型原有的 Logistic 回归基础上,引进了邻域丰度因子和交互因子。吴桂平等<sup>[35]</sup>在驱动因子的回归计算中,以空间权重的形式引入空间自相关因子,从而解决了空间统计分析问题中的空间自相关效应的影响。Chen 等<sup>[36]</sup>使用 GLP (Grey Linear Programming) 方法来表达土地利用需求,对中国北方农牧过渡带土地利用变化进行了研究。陆汝成等<sup>[37]</sup>将 CLUE-S 模型与 Markov 模型相结合,对环太湖地区土地利用格局进行模拟。Luo 等<sup>[38]</sup>、梁友嘉等<sup>[39]</sup>在 CLUE-S 模型中嵌入系统动力学模型,为土地需求的计算进行了有益的探索。Batisani 等<sup>[40]</sup>对区县尺度和区县以下尺度的土地利用变化进行模拟和比较,认为 CLUE-S 模型对区县尺度土地利用变化模

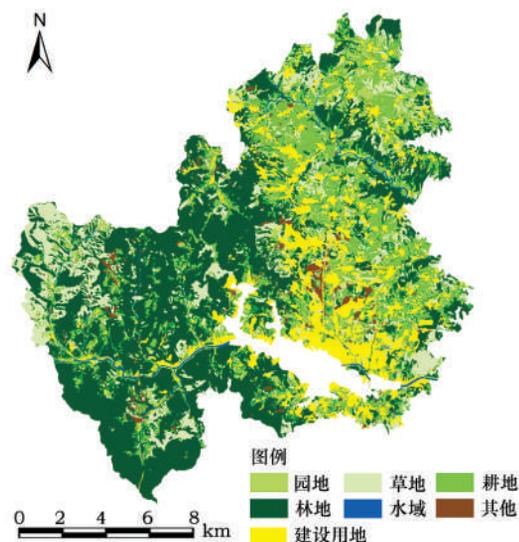


图2 研究区土地利用现状  
Fig.2 The land-use map of study area

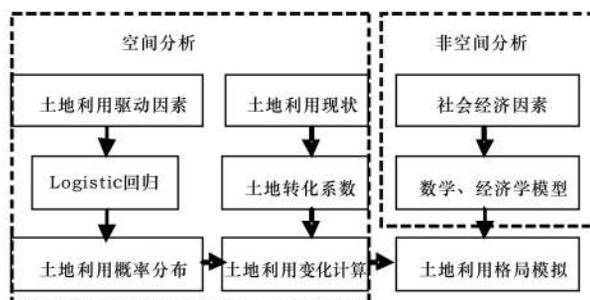


图3 CLUE-S 模型步骤  
Fig.3 The procedures of CLUE-S model

拟准确程度较高,而对更小尺度的模拟精确程度较低。刘森等<sup>[41-42]</sup>利用岷江上游地区土地利用数据,采用 Kappa 指数系列对 CLUE-S 模型在研究区的时间尺度预测能力进行研究。研究表明 CLUE-S 模型在该地区时间尺度上的最大预测能力为 22a, 时间跨度在 14a 及以下的预测成果准确性较低。Banse 等<sup>[43]</sup>利用 CLUE-S 模型模拟欧洲土地利用变化,结合 GTAP (Global Trade Analysis Project) 模型对欧洲生物能源政策的实施和世界粮食产量的影响进行分析。Groot 等<sup>[44]</sup>对 CLUE-S 模型、Landscape IMAGES 模型和 Co-Viability 模型在政策效应模拟领域的效果进行了比较研究,认为 CLUE-S 模型在区域尺度上预测多种土地利用类型的变化以及对不同政策条件的响应等方面存在优势。

从目前的研究成果上看,对 CLUE-S 模型的改进主要集中在对空间分析模块中土地利用变化驱

2011年9月

动因子的选择和对非空间分析模块中土地利用需求的计算上。

本文以山西省阳泉市郊区为例,提出简化的 CLUE-S 模型框架对土地利用进行情景预测研究,如图 4 所示。在这一模型框架中,将 CLUE-S 模型空间与非空间分析模块抽象为土地供给和土地需求两个部门,将土地利用适宜性程度模拟为土地供需平衡的“影子价格”,为土地资源利用分析提供了类似“虚拟市场”的研究模式,为学者进行土地利用变化定量研究和土地管理部门制定土地利用政策提供决策依据。

耕地保护和建设用地开发是区域土地利用管理中面临的重要矛盾,阳泉市郊区人地关系紧张,耕地和建设用地矛盾最为突出。因此,本文主要从耕地和建设用地两种用地类型入手,利用层次分析法(AHP)确定不同驱动因子对土地利用的驱动作用和不同地类间转换系数,进而计算不同情景下土地利用分配计算两种用地类型的供给序列。

在人口预测的基础上,根据不同的发展目标,利用 Logistic 回归和变化的柯布道格拉斯生产函数(Cobb-Douglas production function),通过不同粮食自给率判断不同发展路径下的土地需求。

在耕地和建设用地的供需平衡分析中引入不同目标指向的发展路径分析,构造供需平衡矩阵,模拟各情景下区域土地利用情况,旨在更为全面和清晰的探索确保区域可持续发展的土地利用方式。

在时间尺度上,本文以 15a 作为预测目标期,在这一时间段内,用地类型可进行较为充分的调整。

### 3 土地供给分析

#### 3.1 耕地供给分析

参照联合国粮农组织(FAO)1976年的《土地评价纲要》<sup>[45]</sup>,耕地对评价用途的适宜性程度、限制性强度和生产能力的高低,将驱动力分为弱、中、较强、强四级,并量化为 1~4 分。在综合研究成果并与

当地专家进行研讨基础上,基于数据的可获得性,选取地形地貌、土壤、灌溉条件等 3 个一级指标和海拔等 6 个二级指标,并利用层次分析法(AHP)构造判断矩阵,确定各指标权重(表 1)。

在 Arcgis9.3 中,利用其空间分析模块进行多因子叠加,得到耕地驱动因子综合评价值,并根据土地利用现状,对河流水面、农村道路、风景名胜及特殊用地、城市、建制镇等不适宜转为耕地用途的因子进行调整和剔除,得到阳泉市郊区耕地供给序列(表 2)。

#### 3.2 建设用地供给分析

与耕地驱动因子计算相同,建设用地驱动因子等级同样分为弱、中、较强、强四级,并量化为 1~4 分,选取地形地貌条件、修建安全条件两个一级指标和坡度等两个二级指标,并设定不同用地类型转化为建设用地的转换系数,分为易、较易、中、困难四级(表 3)。利用层次分析法构造判断矩阵,确定各指标权重(表 4),继而将基本农田、内陆滩涂、水库水面、坑塘水面、河流水面等在用地转换系数中列为困难的土地直接评价为弱标准,得到阳泉市郊区建设用地供给序列(表 2)。

#### 3.3 两种用地类型的交叉供给序列

在驱动因子评价结果基础上,分别得到两种用

表 1 耕地驱动因子权重

Table 1 Driving factor weights of cultivated land

一级指标	二级指标	权重
地形地貌	海拔	0.0847
	坡度	0.2812
土壤	土层厚度	0.2015
	有机质含量	0.1763
	土壤质地	0.1493
灌溉条件	灌溉保证率	0.1070

表 2 郊区耕地和建设用地交叉供给序列

Table 2 Cross table of cultivated land and construction land supply in Suburban District, 2025 (hm<sup>2</sup>)

建设 耕地	建设				总计
	强	较强	中	弱	
强	3419.15	2194.22	478.88	12.96	6105.21
较强	5028.63	7894.36	5776.84	1074.07	19773.90
中	884.67	3530.77	7314.66	6378.14	18108.24
弱	182.19	851.91	4506.90	12975.56	18516.56
总计	9514.64	14471.26	18077.28	20440.73	62503.91

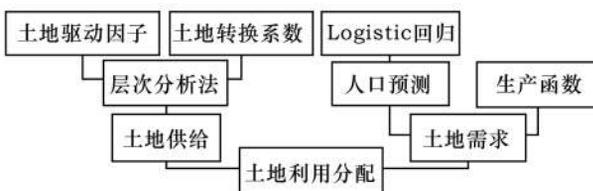


图 4 简化的 CLUE-S 模型研究框架  
Fig.4 Framework of simplified CLUE-S mode

表3 不同地类转换为建设用地系数  
Table 3 Conversion coefficient table for different land types to construction land

驱动力等级	转换系数	土地利用现状类
易	4	城镇村及工矿用地、交通运输用地、水工建筑用地
较易	3	沟渠、设施农用地、裸地
中	2	非基本农田的耕地、园地、零星林地、零星草地
困难	1	基本农田、内陆滩涂、水库水面、坑塘水面、河流水面、集中连片的林地、集中连片的草地

表4 建设用地适宜性因子权重  
Table 4 Suitability factor weights of construction land

一级指标	二级指标	权重
地形地貌条件	坡度	0.2121
修建安全条件	地质灾害防治	0.1422
用地转换系数	土地利用现状	0.6457

地类型的供给序列,利用 Arcgis9.3 工具将两个供给序列进行叠加,得到两种用地类型的交叉供给序列矩阵(表2)。这个矩阵对每单位土地两种用地类型的适宜程度都进行了判断。其中位于矩阵对角线上,对两种用地类型适宜程度相同的土地面积相对较大,因此需要结合土地需求,在不同发展目标的指导下,对此类土地进行合理安排。

## 4 土地需求分析

### 4.1 耕地需求预测

粮食需求法是通过计算人口对粮食的总需求来推算所需耕地面积,其基本公式为:

$$DF = P \times DP \times SR \quad (1)$$

$$DL = DF / (FY \times FR \times MCI) \quad (2)$$

式中  $DF$  为粮食总需求量;  $P$  为人口总数;  $DP$  为人均粮食需求量;  $SR$  为粮食自给率;  $DL$  为耕地需求量;  $FY$  为粮食单产;  $FR$  为粮作比;  $MCI$  为耕地复种指数。总人口数量采用 Logistic 回归方法<sup>[46]</sup>,利用郊区人口变动抽样调查数据,通过 SPSS 统计软件推算为 27.44 万人;人均粮食需求量根据国际粮农组织(FAO)人均 420kg 标准划定;根据 2008 年粮食产量和常住人口计算,粮食自给率约为 23%,根据山西省粮食局进行的粮食安全调查结果显示,山西省居民口粮自给率约为 50%,根据《国家粮食安全中长期规划纲要》规定,2020 年我国粮食自给率

应大于等于 95%,因此在计算中,按照 20%、50%和 95%划定三档标准;粮作比按照 2000 年-2008 年平均数值确定;粮食单产根据科技进步因素以 2008 年标准乘以 1.1 的科技增长系数获得;受气候、环境等方面因素的影响,该地区作物回茬面积较小,耕地复种指数近似为 1。

在不同土地利用导向下,为每一规划期划定三个平衡标准。第一标准为非农业侧重标准,指满足 20%自给率的耕地需求水平,若耕地数量低于此标准,则对地区粮食安全可能造成较大威胁;第二标准为产业平衡标准,指满足 50%自给率的耕地需求水平,在这一标准下,耕地数量有一定幅度的增加,粮食供应相对充足,农业和非农产业保持平衡发展;第三标准为绝对安全标准,指满足 95%自给率的耕地需求水平,在这一标准下,粮食安全成为地区最重要的经济发展任务,大量土地投入到耕地供给中。根据上述公式代入相关数据,结果见表 5。

表5 2025年郊区耕地及建设用地需求预测  
Table 5 Cultivated land and construction land demand prediction in suburban district, 2025 (hm<sup>2</sup>)

耕地		建设用地	
平衡标准	耕地需求	平衡标准	建设用地需求
非农侧重	7252.63	等效增长	1 0480.85
产业平衡	1 8131.57	持续增长	1 4069.40
绝对安全	3 4449.99	超速增长	2 5177.93

### 4.2 建设用地需求预测

建设用地的需求与区域人口数量 and 经济发展情况息息相关,根据不同的经济发展目标,建设用地需求将呈现较大差异。

(1)等效增长。在经济发展过程中,若保持资本以及土地供给与劳动产出效率比例不变,土地需求主要取决于人口数量变化,根据上文预测的人口数量,计算 2025 年建设用地需求为 1 0480.85 hm<sup>2</sup>。在这种条件下,经济增长主要取决于外生技术进步因素,以及人口增长带来的生产扩大。

(2)持续增长。在经济发展过程中,为了确保社会平稳健康运行,一般期望经济在较小的波动范围内保持平稳持续增长,在这种条件下,可以建立柯布道格拉斯回归模型:

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta} \quad (3)$$

式中  $Y$  表示地区生产总值(亿元);  $A$  为技术参数;

2011年9月

$K$ 、 $L$  分别代表社会资本存量和人力资本存量;  $\alpha$ 、 $\beta$  分别为投入产出系数。假设不同年份之间投入产出系数不变,用次年地区生产总值除以当年地区生产总值得:

$$\frac{Y_{T+1}}{Y_T} = \left(\frac{A_{T+1}}{A_T}\right) \times \left(\frac{K_{T+1}}{K_T}\right)^\alpha \times \left(\frac{L_{T+1}}{L_T}\right)^\beta \quad (4)$$

式中  $\frac{Y_{T+1}}{Y_T}$ 、 $\frac{K_{T+1}}{K_T}$ 、 $\frac{L_{T+1}}{L_T}$  分别表示地区生产总值、社会资本存量和人力资本存量增长率。假设单位土地面积附着资本比例不变,即社会资本存量增长率等于土地供给增长率,用社会就业人口数量代替人力资本存量。进一步整理上式,两边取对数,得:

$$Y_g = A + \alpha K_g + \beta L_g \quad (5)$$

式中  $Y_g = \ln\left(\frac{Y_{T+1}}{Y_T}\right)$ 、 $K_g = \ln\left(\frac{K_{T+1}}{K_T}\right)$ 、 $L_g = \ln\left(\frac{L_{T+1}}{L_T}\right)$ 、 $A_g = \ln\left(\frac{A_{T+1}}{A_T}\right)$ 。在 SPSS 中对上式分别代入非农产业进行回归分析,得到:

$$Y_g = 0.127 + 4.939K_g - 2.429L_g \quad (6)$$

$$R^2 = 0.968, R < 0.001.$$

根据公式(6),在非农就业人口保持2004年-2008年年均5%增长水平的情况下,若需要地区生产总值保持13%左右的增速,则建设用地至少要保证年均增长2.3%的速度。即到2025年,建设用地需求为14069.40 hm<sup>2</sup>。

(3) 超速增长。为了追求经济的超速发展,经济体采取竭泽而渔式的发展方式,即在条件允许情况下尽量将非建设用地变更为建设用地。本文选择在粮食自给率和林地、园地、草地数量保持现状不变的情况下,所有其他类型土地均转化为建设用地的情况作为建设用地的最大需求值。根据计算,2025年建设用地需求为25177.93hm<sup>2</sup>。

综合三种情况,得到建设用地需求如表5。

## 5 平衡情景预测与路径选择

### 5.1 土地供需平衡情景预测

根据上述供给和需求分析,将发展路径分为三类:

(1) 生态涵养式路径。在耕地需求上选择“绝对安全”标准,在建设用地需求上选择“等效增长”标准。在用地平衡中,侧重耕地的需要,将最适合耕作的土地都投入到农业生产中。在这一发展路径下,对生态环境的保护成为政府部门主要施政目标。

(2) 超速掠夺式路径。在这一发展路径下,以保障建设用地足量投放为第一目标,在耕地需求上选择“非农侧重”标准,在建设用地需求上选择“超速增长”标准。在用地平衡中,优先考虑建设用地的需要,确保最适宜开发建设土地都投入生产建设中。

(3) 均衡发展式路径。在这一发展路径下,综合衡量耕地和建设用地的需求。在耕地需求上选择“产业平衡”标准,在建设用地需求上选择“持续增长”标准。在用地平衡中,当土地对两种用地类型驱动因素级别相同时,按照两种土地类型的需求比例分配。

在这三种路径下,可列出郊区2025年耕地和建设用地供需平衡试算表如表6。表6显示,阳泉市郊区耕地和建设用地之间的矛盾关系比较明显。其中,“生态涵养”路径下,耕地使用的面积远超过其他两种发展路径,建设用地大多分布在“较强”及以下条件的区域,对经济发展构成不利影响;“超速掠夺”路径下适宜建设的土地得到了较为充分的利用,而粮食生产主要在“较强”条件的土地上进行,耕地投放的数量较少;“均衡发展”路径下耕地和建设用地都得到了较为充分的利用,在“强”条件下使

表6 2025年郊区土地利用情况预测

Table 6 Land use simulation in suburban district, 2025

(hm<sup>2</sup>)

发展路径	用地类型	强	较强	中	弱	总计
生态涵养	耕地	6105.21	19773.90	8570.88	-	34449.99
	建设用地	1066.86	4382.68	5031.31	-	10480.85
超速掠夺	耕地	491.84	6760.79	-	-	7252.63
	建设用地	9514.64	14471.26	1192.03	-	25177.93
均衡发展	耕地	4941.05	12559.71	630.81	-	18131.57
	建设用地	7259.65	6568.25	241.50	-	14069.40

用的耕地和建设用地数量之和大于其他两种路径,在“中”条件下使用的耕地和建设用地数量之和小于其他两种路径,土地资源使用得到了优化。

## 5.2 可持续视角下的路径选择

为实现土地利用可持续,在供需平衡分析中,需要遵循以下原则:

(1)耕地优先原则。耕地数量是维系粮食安全和社会稳定的重要因素。郊区气候、土壤等环境因素对农业发展产生了诸多制约。而且,郊区地处太原城市群辐射范围内,正是第一产业向第二第三产业转型,城市化进程加快的关键时期。在农业制约因素依然存在,以及非农产业蓬勃发展对建设用地需求逐步加大的双重压力下,确保足够数量的耕地,成为在供需平衡分析中需要优先考虑的问题。

(2)生态保护原则。保护生态环境是维持社会平稳健康可持续发展的重要手段。在发展的过程中,不可避免的要对生态环境产生一定程度的影响。因此,在供需平衡分析中,应注重生态环境建设的要求,预留充足的林地、园地、牧草地等生态用地,鼓励发展旅游业等对生态环境影响较小的土地利用方式,减少工业对生态的破坏。

(3)效益提高原则。在稳定耕地数量,保护生态环境的基础上,深入挖掘潜力,鼓励土地向单位收益更大的用途转移。通过合理扩张建设用地,支持经济发展,支撑城市化进程,提高单位面积土地的经济效益和社会效益。

总体看来,土地在耕地、建设用地和生态用地三种类型中的分配是不同发展观导致的必然结果。其中,均衡增长路径秉承全面协调可持续发展理念,综合考虑粮食安全、经济发展和生态改善三大目标。在保证粮食供给和生态环境的基础上提高了土地利用效率,符合前文所述供需平衡原则,建议在未来的发展中,采用这一发展导向。

生态涵养导向的发展路径适合经济发展程度较高的发达地区。在这类地区,经过较长时间的经济发展,居民物质生活水平较高,对改善生态环境的要求较为迫切。以阳泉郊区发展的程度看,尽管生态环境改善也是重要的发展目标,但实施这一路径的基础条件尚不具备,可作为政府部门的参考。

超速掠夺导向发展路径适用于农业社会向工业社会转变初期,需要资本完成原始积累,以牺牲部分自然环境来获取对经济的“初始推动力”,或者

经济危机中的刺激手段。但由于其对生态环境可能造成不可逆转的影响,采用这种路径需要对经济社会强有力的控制,一旦经济发展启动或出现好转,要尽快完成经济转型。从目前阳泉郊区经济社会发展情况看,这种模式应该尽量避免。

## 6 结论与讨论

土地资源可持续利用是可持续发展战略的核心内容。在经济社会发展过程中,土地资源的持续利用既是区域发展的立足之本,又是解决日趋尖锐的土地开发利用和保护、有限供给和不断膨胀的旺盛需求、粗放利用与集约经营之间矛盾的重要手段。本文在CLUE-S模型框架下,对阳泉市郊区土地利用情景预测,可以得出以下结论:

(1)在CLUE-S模型框架下,土地的驱动因子、转换系数和土地需求共同决定了土地利用方式的变化,为土地规划尤其是供需平衡分析提供了重要的参考依据。三者分别描述了自然环境、人文影响和利用成本三个方面对土地利用变化的影响,是对土地利用的综合评价与考量。本文在CLUE-S模型框架的基础上,结合土地利用规划的一般方法进行了综合与简化,提出了更为适合规划编制工作的简化模型,可以解决传统供需平衡研究中土地供给方面对各类因子综合考量程度不够的问题。

(2)土地供给和需求的预测和平衡分析,是各类土地利用规划的必要组成部分,而耕地紧缺、建设用地对耕地侵占大是我国县级规划中存在的较为严重的问题<sup>[47]</sup>。本文集中针对耕地和建设用地的权衡取舍进行研究,通过设定不同的发展目标,模拟了不同路径下耕地和建设用地的供需平衡,为土地规划实践提出了较为重要的参考依据。

(3)研究具有中国特色的土地持续利用问题是实现我国粮食安全、确保耕地数量和质量、实现人口、资源和环境持续发展的基础。本文以土地可持续利用为视角,提出了耕地优先、生态保护和提高效益三个原则,并对不同发展路径下的土地利用进行了选择。所选择的“均衡发展”方案对耕地和建设用地的投放进行了平衡考虑,在一定程度上保证了区域粮食安全、生态稳定和土地利用效率。

针对目前的研究结果,仍有两个方面的问题值得进一步讨论:一是CLUE-S模型与其它模型,尤其是数学、统计学、经济学领域模型的耦合问题。CLUE-S模型具有良好的开放性特征,空间分析模

2011年9月

块驱动因子的选择和非空间分析模块模型的选择通常受到研究者自身认识和数据获取的局限,非空间分析模块中的各类经济社会数据与空间分析模块中土地利用的对应和匹配也需要进一步探索。二是土地利用的平衡假设问题。CLUE-S模型的应用具有一个基本的假设条件,即土地利用变化受到土地供给(空间分析模块)和土地需求(非空间分析模块)两方面的制约,最终土地利用变化的结果是两方面因素达到平衡,类似经济学中的“市场均衡”(Market Equilibrium)概念。但在实践中,由于土地利用变化和经济社会发展并不能完全同步,这一“均衡”状态是否存在值得进一步研究。三是模拟结果的空间化问题。将土地利用需求分配在空间上是 CLUE-S 模型的重要特征<sup>[26]</sup>。

本研究区属阳泉市辖区,在土地利用空间分配上受上级规划影响具有较大的不确定性,这种不确定性会影响 CLUE-S 模型在空间分配上的精度<sup>[48]</sup>。在这一基础上,考虑到数据获取的难度,本研究采用简化的 CLUE-S 模型框架,关注于数量控制,探讨不同土地利用总量下阳泉市郊区各土地利用类型数量分配差异。降低外在影响因素对模拟的影响,实现模拟结果的空间化是本研究进一步深入的重点内容。

#### 参考文献(References):

- [1] 蔡运龙.土地利用/土地覆盖变化研究:寻求新的综合途径[J].地理研究,2001,20(4):297-304.
- [2] 邬建国.景观生态学中的十大研究论题[J].生态学报,2004,24(9):2074-2076.
- [3] 刘纪远,刘明亮,庄大方,等.中国近期土地利用变化的空间格局分析[J].中国科学(D辑),2002,32(12):1031-1040.
- [4] Verburg, P.H., Schot,P.P., Dijst, M.J., et al. Land use change modeling: current practice and research priorities[J]. *GeoJournal*, 2004, 61(4):309-324.
- [5] Lambin, E.F., Rounsevell, M.D.A., Ceist, H.J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 82: 321-331.
- [6] 李月臣,刘春霞.1987-2006年北方13省土地利用/覆盖变化驱动力分析[J].干旱区地理,2009,32(1):37-46.
- [7] Hulst,R. On the dynamics of vegetation: Markov chains as models of succession[J]. *Vegetation*, 1997, 40: 3-14.
- [8] Britz, W., Verburg, P.H., Leip, A. Modelling of land cover and agricultural change in Europe: Combining the CLUE and CAPRI-Spat approaches[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, doi:10.1016/j.agee.2010.03.008.
- [9] Verburg, P.H., Overmars, K.P. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model[J]. *Landscape Ecological*, 2009, 24: 1167-1181.
- [10] Smith, N., Dennis, W. The restructuring of geographical scale: Coalescence and fragmentation of the northern core region[J]. *Economic Geography*, 1987, 63(2):160-182.
- [11] 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[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, 12(7):699-714.
- [12] 史培军,陈晋,潘耀忠.深圳市土地利用变化机制分析[J].地理学报,2000,55(2):151-160.
- [13] Saeed, A.K., Barlas, Y., Yemgun, O. Long term sustainability in an agriculture development project: A system dynamics approach[J]. *Journal of Environmental Management*, 2002, 64:247-260.
- [14] Parker, D.C., Manson, S.M., Janssen, M.A., et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review[J]. *Annals of Association of American Geographers*, 2003, 93(2):314-377.
- [15] Veldkamp, A., Fresco, L.O. CLUE: A conceptual model to study the Conversion of Land Use and its effects[J]. *Ecological Modelling*, 1996, 93: 263-273.
- [16] Veldkamp, A., Fresco, L.O. CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica[J]. *Ecological Modelling*, 1996, 91(1-3):231-248.
- [17] Schulp, C.J.E., Nabuurs, G.J., Verburg, P.H. Future carbon sequestration in Europe-Effects of land use change[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, 127(3-4):251-264.
- [18] Hellmann, F., Verburg, P.H. Spatially explicit modelling of biofuel crops in Europe[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2011, 35(6):2411-2424.
- [19] Verburg, P.H., Veldkamp, W., Limpiada, R., et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model[J]. *Environmental Management*, 2002, 30(3):391-405.
- [20] 朱利凯,蒙吉军.国际LUCC模型研究进展及趋势[J].地理科学进展,2009,28(5):782-790.
- [21] 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.
- [22] Verburg, P.H., Eickhout, B., van Meijl, H. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use[J]. *Annals of Regional Science*, 2008, 42(1):57-77.
- [23] Wassenaar, T., Gerber, P., Verburg, P.H., et al. Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest[J]. *Global Environmental Change*, 2007, 17:86-104.
- [24] Overmars, K.P., Verburg, P.H., Veldkamp, A. Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model[J]. *Land Use Policy*, 2007, 24(3):584-599.

- [25] Overmars, K.P., Groot, W.T., Huigen, M.G.A. Comparing inductive and deductive modeling of land use decisions: Principles, a model and an illustration from the Philippines[J]. *Human Ecology*, 2007, 35(4):439-452.
- [26] Castella, J.C., Kam, S.P., Quang, D.D., et al. Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam[J]. *Land Use Policy*, 2007, 24(3):531-545.
- [27] Castella, J.C., Verburg, P.H. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam[J]. *Ecological Modeling*, 2007, 202(3-4):410-420.
- [28] Lin, Y.P., Verburg, P.H., Chang, C.R., et al. Developing and comparing optimal and empirical land-use models for the development of an urbanized watershed forest in Taiwan[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92(3-4): 242-254.
- [29] 邓祥征,刘纪远,战金艳,等. 太仆寺旗土地利用变化时空格局的动态模拟[J]. *地理研究*,2004,23(2): 147-156.
- [30] 彭建,蔡运龙,Verburg P H. 喀斯特山区土地利用/覆盖变化情景模拟[J]. *农业工程学报*,2007,23(7): 64-70.
- [31] 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): 206-213.
- [32] 张学儒,王卫,Verburg P H,等. 唐山海岸带土地利用格局的情景模拟[J]. *资源科学*,2009,31(8): 1392-1399.
- [33] 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.
- [34] 段增强,Verburg P H,张凤荣,等. 土地利用动态模拟模型的构建及其应用[J]. *地理学报*,2004,59(6): 1037-1047.
- [35] 吴桂平,曾永年,冯学智,等. CLUE-S模型的改进与土地利用变化动态模拟[J]. *地理研究*,2010,29(3): 460-470.
- [36] Chen, Y.H., Li, X.B., Su, W., et al. Simulating the optimal land-use pattern in the farming-pastoral transitional zone of Northern China. *Computers[J]. Environment and Urban Systems*, 2008, 32: 407-414.
- [37] 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[J]. *地理科学*,2009,29(4): 577-581.
- [38] Luo, G.P., Yin, C.Y., Chen, X., et al. Combining system dynamic model and CLUE-S model to improve land use scenario analyses at regional scale: A case study of Sangong watershed in Xinjiang, China[J]. *Ecological Complexity*, 2010, 7:198-207.
- [39] 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.
- [40] Batisani, N., Yarnal, B. Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and landscape transformations[J]. *Applied Geography*, 2009, 29: 235-249.
- [41] 刘森,胡远满,常禹,等. 土地利用模型时间尺度预测能力分析——以CLUE-S模型为例[J]. *生态学报*,2009,29(11): 6110-6119.
- [42] 刘森,胡远满,常禹,等. 生态保护政策对岷江上游地区土地利用/覆被的影响[J]. *应用生态学报*,2010,21(6): 1351-1358.
- [43] Banse, M., van Meijl, H., Tabeau, A., et al. Impact of EU biofuel policies on world agricultural production and land use[J]. *Biomass and Bioenergy*, 35(6): 2385-2390.
- [44] Groot, J. C. J., Rossing, W. A. H., Tichit, M., et al. On the contribution of modelling to multifunctional agriculture: Learning from comparisons[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90: 147-160.
- [45] FAO. A Frame Work for Land Evaluation[R]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1976.
- [46] 陈彦光. 人口与资源预测中Logistic模型承载力参数的自回归估计[J]. *自然资源学报*,2009,24(6): 1105-1114.
- [47] 朱凤武,彭补拙. 中国县域土地利用总体规划的模式研究[J]. *地理科学*, 2003, 23(3): 282-286.
- [48] Batisani, N., Yarnal, B. Uncertainty awareness in urban sprawl simulations: Lessons from a small US metropolitan region[J]. *Land Use Policy*, 2009, 26: 178-185.

## CLUE-S based Scenario Prediction on Sustainable Land Use: A Case Study of Suburban District, Yangquan City

WU Jiansheng<sup>1,2</sup>, FENG Zhe<sup>1,2</sup>, HUANG Li<sup>1,2</sup>, GAO Yang<sup>2</sup>, PENG Jian<sup>1,2</sup>, HUANG Xiulan<sup>3</sup>

(1. *The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, School of Urban Planning & Design,*

*Peking University, Shenzhen 518055, China;*

2. *Key Laboratory for Earth Surface Processes of Ministry of Education; College of Urban and Environmental Sciences,*

*Peking University, Beijing 100871, China;*

3. *Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China)*

**Abstract:** Determination of the most ecologically sound configuration for towns and cities inhabiting millions of people is of importance in China. Improving land use efficiency and optimizing the allocation of land resources are the key measures to promote regional economic sustainable development. This paper presents a land use planning framework for land supply and demand in suburban districts of Yangquan City, Shanxi Province. The situation of land use change was analyzed based on land use and socio-economic data. By applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, the weights of driving factors of land-use change were calculated. By setting different development goals, different development paths of land use change on a 15-year timescale were analyzed. A possible way in land use planning field under the framework of CLUE-S model was proposed. Results show that the land priority principle, ecological protection principle, and efficiency principle could in turn be considered in land use planning. The ecological protection path, speeding plunder path, and balanced development path were set as three prediction scenarios. Compared to the ecological protection path and speeding plunder path, the balanced development path requires a farm land area of 18 131.57 hm<sup>2</sup> and a construction land area of 14 069.40 hm<sup>2</sup> to fulfill the goals that the self-sufficiency rate of food increase at a rate of 27% and the GDP grows at a rate of 13% per year. The balanced development path was the most appropriate development path of the land use planning scenario among the three scenarios formulated. Under the framework of the CLUE-S model, driving factors, conversion factors, and land demand jointly determined changes in land use, providing reference for land use planning. The three characteristics are able to describe the natural environment, social impact, and use cost, respectively. Therefore, urban land use planning should be made from the viewpoint of integrated study so as to ensure cultivated land quantity and quality, regional food security, and sustainable development among population, resources, and environment. In summary, the framework of CLUE-S was successfully applied to land use planning for the study area. A balanced development strategy for towns, based on land space analysis and pattern optimization, can provide an effective approach for space development and management in small-scale regions. This framework can also guide regions with similar spatial scales, improving the effectiveness and operability of land use planning.

**Key words:** CLUE-S model; Land use scenario prediction; Conversion factors; Yangquan