

基于 CLUE 模型的 2030 年江西省 土地利用变化情景分析

郭延凤^{1,2}, 于秀波¹, 姜鲁光¹, 查良松²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 生态网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖 241003)

摘要: 引入“一切照常情景”、“规划情景”和“优化情景”三种生态系统变化情景, 采用 CLUE 模型, 对江西省 2001~2030 年的土地利用空间变化进行模型模拟, 并用 2005 年的土地利用现状图对模拟结果进行了验证。研究表明: 在“一切照常情景”中, 耕地持续减少; 建设用地急剧增加; 林地面积基本保持稳定。在“规划情景”中, 耕地持续增加; 建设用地略有增加, 并在 2020 年后基本保持不变; 林地总面积变化不大, 但是高密度森林面积比重增大; 河流和湖泊面积略微减少, 湿地面积大幅增加。在“优化情景”中, 森林增加趋势较“规划情景”有所减缓, 河流和湖泊, 湿地均有显著增加。本研究对研究区今后的土地利用规划修编和土地可持续性管理具有重要的指导意义。

关键词: CLUE 模型; 土地利用变化; 情景分析; 江西省

文章编号: 1000-0585(2012)06-1016-13

1 引言

CLUE (The Conversion of Land Use and its Effects) 模型是 20 世纪末由荷兰瓦格宁根大学的 Verburg 等研制开发的土地利用变化及其效应模型^[1]。2000 年后该模型在国内外发展迅速, 许多学者将其成功应用于各类土地利用变化, 以及土地利用变化与各类影响因素间变化关系的研究^[2~7]。

土地利用宏观结构变化是生态系统服务研究的基础, 土地利用方式的变更影响着森林、草地和湿地等生态系统的发展变化, 不同土地利用类型面积的增减决定其提供生态系统服务能力的相对大小。土地利用变化空间分布的模拟与情景分析结合, 涉及到影响土地利用变化的诸多驱动因素, 是一个相当复杂的过程^[8,9], 引起了学术界的广泛关注与重视^[10,11]。国内学者对土地利用变化的研究主要集中在对过去一段时间内土地利用变化过程的研究, 缺少对未来不同情景下的土地利用变化的分析、预测与评估^[12,13]。

由于自 20 世纪 80 年代“山江湖工程”实施以来, 江西省生态保护与恢复取得了巨大成就, 该区域的土地利用变化受到国内外学者的重视, 已经成为生态学与地理学研究水土流失治理, 退耕还林和退田还湖等生态修复工程的范例地区^[14]。21 世纪初期正处于江西

收稿日期: 2011-08-15; 修订日期: 2012-01-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2009CB421106)

作者简介: 郭延凤 (1983-), 女, 安徽六安人, 硕士, 从事模型设计与 GIS 应用研究。

E-mail: gyf2242735@sina.com

通讯作者: 于秀波 (1965-), 男, 山东枣庄人, 研究员, 从事生态系统服务评估、湿地与流域管理等研究。

yuxb@igsnrr.ac.cn

省城市化快速推进的时期，土地利用变化显著。为了建立土地利用变化与生态系统服务之间的联系，本文结合 1990 年、1995 年、2000 年和 2005 年四期土地利用图，设定“一切照常情景”、“规划情景”和“优化情景”三种生态系统情景，通过 CLUE 模型对江西省 2001~2030 年的土地利用变化空间分布进行模型模拟，以期为该地区的土地利用动态规划、区域生态优化提供科学依据。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

江西省位于中国东南部，长江中下游南岸，地理位置为 24°7′~29°9′N、114°02′~118°28′E。总面积 16.69km²，由 11 个地级市组成。江西省境内除北部较为平坦外，东、西、南部三面环山，中部丘陵起伏，成为一个整体向鄱阳湖倾斜而往北开口的巨大盆地。全境有大小河流 2400 余条，赣江、抚河、信江、修河和饶河为江西五大河流。

研究区土地利用结构类型多样，农用地比重高，农用地中林地比重大；土地利用呈一定的地域分布规律，耕地、城镇工矿用地等主要分布在平原、盆地、河谷地带及周边岗地与丘陵地区，林地、牧草地等主要分布在山地丘陵区域；土地利用程度和利用效益相对较高，土地利用效益的区域差异明显。

2.2 数据来源

本文所使用数据主要包括：（1）1990 年、1995 年、2000 年、2005 年四期土地利用数据^[15]；（2）土壤质地；（3）土壤厚度；（4）pH 值；（5）土壤有机碳；（6）太阳总辐射；（7）气温；（8）降雨；（9）GDP；（10）人口；（11）DEM 数据；（12）道路通达度；（13）排水能力。数据来源见表 1，数据分辨率未标注的均为 1km。

表 1 数据列表与数据来源
Tab 1 Data list and data sources

数据名称	数据来源
四期土地利用图（其中 1990 年、1995 年、2000 年三期为 1km 分辨率，2005 年为 100m 分辨率）、太阳总辐射、气温、降雨、GDP、人口	中国科学院资源环境数据中心
DEM（90m 分辨率）	马里兰大学地球科学数据中心（ http://glcfapp.umi.acs.umd.edu ）
土壤质地、土壤厚度、pH 值、土壤有机碳	国际应用系统分析研究所（ http://www.iiasa.ac.at ）
道路通达度和排水能力	荷兰瓦格宁根大学
海拔、坡度等地形数据	作者根据 DEM（90m 分辨率）衍生而来
建设用地适宜范围图	作者根据建设用地概率图衍生而来
鄱阳湖国家级自然保护区、鄱阳湖省级及以下湿地水鸟保护区	江西省山江湖开发治理委员会办公室提供

四期土地利用数据的土地利用类型划分采用《土地资源分类系统》标准，共有 6 个一级类、25 个二级类。二级类包括：耕地、林地、草地、水域、居民用地等。本文根据江西省具体的土地利用状况，将土地利用类型重新归并为 9 大类（表 2）。

表 2 土地利用分类体系
Tab. 2 Land use classification system

本文土地利用分类	《土地资源分类系统》
建设用地	城镇用地、农村居民点、其他建设用地
耕地	水田、旱地
低密度草地	低密度草地
中高密度草地	中、高覆盖度草地
中低密度森林和灌丛	灌木林、疏林地、其他林地
高密度森林	有林地
河流和湖泊	河渠、湖泊、水库坑塘
湿地	滩涂、滩地、沼泽地
其他	永久性冰川雪地、沙地、盐碱地、裸土地、 裸岩石砾地、高山荒漠、苔原等

3 研究方法

本文利用 CLUE 模型模拟三种情景下的江西省土地利用变化。情景分析是探索现有的土地利用方式和政策选择所存在风险的有效工具，情景分析考虑了多方面的影响因素，从不同的途径给决策部门提供更加全面，更加有意义的科学参考依据，而不是用单纯的模型输入结果作为依据。CLUE 模型根据三种情景实际的土地利用结构，通过识别和量化土地利用变化中最重要的自然和经济驱动力，从多个尺度来定量模拟土地利用变化。

本文主要从三个方面来研究：一是针对江西省独特的自然、社会经济状况，对 CLUE 模型参数进行具体设置；二是三种生态系统变化情景的设定；三是土地利用变化的空间模拟。基于三种情景的设定，在 17 个影响因子的共同作用下，通过 CLUE 模型模拟，将各土地利用类型定位在最适宜、最可能出现的位置。

3.1 CLUE 模型技术流程

CLUE 模型是以区域适宜性的经验分析为基础，同时结合土地利用系统的当前驱动因素间的竞争及相互作用，进行土地利用变化的空间模拟，模型模拟过程^[16]如图 1 所示。

3.2 CLUE 模型参数

(1) 驱动因子

不同驱动因素对土地利用变化的影响与控制作用是不同的。为了更为清晰地刻画与揭示不同因素对土地利用变化的控制与影响作用，研究中根据数据的相关性及可获取性，选取了以下 17 种影响因子^[17]：1) 坡度；2) 海拔；3) 土壤质地（优）；4) 土壤质地（中等）；5) 土壤质地（劣）；6) 浅层土壤（≤30cm）；7) 深层土壤（>30cm）；8) pH 值；9) 土壤有

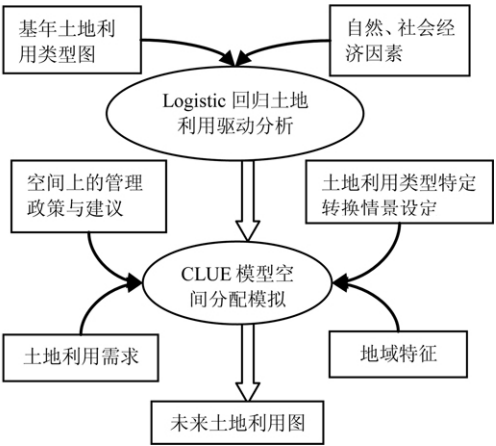


图 1 CLUE 模型模拟流程图
Fig. 1 Flowchart of CLUE model simulation

机碳; 10) 排水能力 (高); 11) 排水能力 (低); 12) 气温; 13) 降雨; 14) 太阳总辐射; 15) GDP; 16) 道路通达度; 17) 人口。

(2) logistic 回归分析

土地利用空间格局是不同土地利用类型的特定组合在空间上的表现形式, 具有整体性, 它取决于各土地利用类型在空间的分布状况。logistic 回归分析通过计算事件的发生概率, 使用自变量作为预测值, 可以用来分析土地利用类型和驱动因素的关系。其优点是变量既可以是连续的 (定量的) 也可以是分类 (定性的) 形式的^[18]。运用 logistic 逐步回归对每一栅格单元可能出现某一种土地利用类型的概率进行诊断。其计算公式为^[19]:

$$P_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_{1,i} + \beta_2 x_{2,i} + \cdots + \beta_n x_{n,i})}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_{1,i} + \beta_2 x_{2,i} + \cdots + \beta_n x_{n,i})} \quad (1)$$

式中: P_i 为空间上栅格可能出现某一土地利用类型 i 的概率; $X_{1,i} \sim X_{n,i}$ 分别是与土地利用类型 i 相关的各备选驱动因子; β 系数为 logistic 回归方程诊断出的关系系数, 其中 β_0 为常量, $\beta_1 \sim \beta_n$ 分别表示 $X_{1,i} \sim X_{n,i}$ 等各备选因子与土地利用类型 i 之间的相关度, β 值越大, 代表其相关度越高, β 值的正负号分别表示正负相关。

(3) 土地利用需求模块

需求模块是 CLUE 模型中一个相对独立的模块, 模型要求把不同情景下的土地利用需求结果输入模型, 以便进行空间分配和空间模拟。不同情景下的结果根据各种土地需求量预测方法求取, 并且模型要求输入研究时段内各年度的各种土地利用类型的需求量。根据江西省 1990~2000 年的各土地利用类型的面积变化趋势, 采用线性趋势法设定“一切照常情景”中土地利用需求; 结合《江西省土地利用总体规划》及《江西省鄱阳湖流域生态林业发展规划》等规划文件中 2001~2030 年各年土地利用类型的目标面积, 线性内插出“规划情景”下的土地利用需求; 为了使各生态系统结构达到最优, 根据专家意见法, 按照生态系统只发生正演替的原则, 在“基于规划”的情景基础上, 完成对“优化情景”的土地利用需求设定。

(4) 转移矩阵

根据不同情景, 不同土地利用类型的转化难易程度, 分别设置三种情景的转移矩阵。一切照常情景中, 转移矩阵中两个地类之间的关系为: 允许转化、不允许转化或多年以后才允许转化。规划情景中, 增加了保护区图层。保护区范围内的土地, 虽符合转化为其他地类的要求, 却不允许转化为其他地类。优化情景中增加了限制图层, 如概率值大于 0.02 的建设用地概率图被作为“建设用地适宜范围图”, 即当建设用地概率值小于 0.02 时, 任何土地类型都不能转化为建设用地^[17]。

(5) 转换弹性

土地利用转化的稳定性 (ELAS 参数的值) 是指在一定时期内, 研究区内某种土地利用类型可能转化为其他土地利用类型的难易程度。ELAS 参数取值介于 $[0, 1]$ 之间, 参数值越大, 土地利用就越稳定, 对应的土地利用类型发生转变的可能性就越小。本文根据研究区土地利用系统中不同土地利用类型变化的历史情况、未来土地利用规划目标及土地利用变化的可逆性等情况, 设置不同土地利用类型转化的稳定程度。本研究中的 ELAS 参数根据专家打分法, 具体设置^[17]如表 3 所示。

表 3 不同土地利用类型的 ELAS 参数
Tab 3 Current settings of the conversion elasticity

土地利用类型	ELAS 参数	土地利用类型	ELAS 参数
建设用地	1	高密度森林	0.9
耕地	0.7	河流和湖泊	1
低密度草地	0.6	湿地	0.9
中高密度草地	0.6	其他	1
中低密度森林和灌丛	0.5		

3.3 情景分析

情景分析^[17]的设定始终与土地利用方式, 规划目标等影响因子紧密结合, 并将量化的研究结果纳入到土地利用变化空间模拟中^[20,23]。

“一切照常情景”是根据江西省 1990~2000 年的土地利用变化趋势, 推断 2001~2030 年的土地利用格局的变化趋势。该情景主要回答如果对现有的土地利用方式不做任何改进, 重要的自然保护区、候鸟栖息地等不加保护, 按照现有的人类对生态保护不作为的趋势发展下去, 到 2030 年江西省的土地利用格局如何变化。

“规划情景”的预测是基于江西省政府部门对耕地、建设用地、林地及粮食等所制定的规划目标(表 4)。“规划情景”与“一切照常情景”相似, 唯一的不同: 未来各主要土地利用类型变化的依据都是基于江西省各部门的政府规划文件。规划目标作为一种政府干预, 必然会对土地利用变化产生影响。该情景主要回答根据规划目标, 到 2030 年江西省的土地利用格局如何变化。

表 4 “规划情景”相关背景
Tab 4 Background to the planned scenarios

规划文件及目标	
江西省土地利用总体规划 (2006~2020 年)	由江西省人民政府编制, 其目标是到 2020 年, 耕地、园地、林地、牧草地、其他农用地总面积分别达到 16.86%、2.32%、62.6%、0.02%、4.91%, 建设用地总面积达到 6.4%, 未利用地总面积约 6.9%。
江西鄱阳湖流域生态林业发展规划 (2008~2020)	由中国科学院生态环境研究中心编制, 其目标是森林覆盖率到 2012 年达到并稳定在 63%, 到 2020 年达到并稳定在 65%。
2006~2020 年江西省山江湖工程总体规划纲要	由江西省山江湖开发治理委员会办公室编制, 确保以湖口水位 21.68m 的水域所涉及的地域作为鄱阳湖行洪区。
江西省国民经济和社会 发展“十一五”规划纲要	由江西省第十届人民代表大会第四次会议通过, 到 2010 年耕地保有量 4300 万亩。
江西省新增百亿斤优质稻谷 生产能力项目建设规划方案	经江西省人民政府常务会议讨论通过, 新增百亿斤稻谷的方法, 一是通过扩大 381 万亩播种面积(增产 27 亿斤); 二是通过农田标准化提高综合生产能力和全面提升农业科技水平(增 82.6 亿斤); 三是通过鄱阳湖生态水利枢纽工程等水利条件改善和造地增粮富民工程可再增产 30 亿斤。

“优化情景”的提出是基于“一切照常情景”和“规划情景”的比较结果, 各政府部门规划目标之间的冲突分析以及其他地区案例研究所取得的经验。在该情景中, 引入了整体生态系统服务的意识, 生态系统只能发生正演替, 同时, 通过恢复丧失的生态潜力来增

强生态系统服务的可获得性：如退耕还林、退田还湖等。通过加强县市政府和利益相关方的参与，各类土地利用在环境、经济和社会之间的利益权衡也将得到优化。该情景主要回答在既能实现部门经济发展目标，又能完成生态系统服务的优化目标情况下，到 2030 年江西省的土地利用格局如何变化。

3.4 动态模拟

动态模拟是在综合分析土地利用的空间分布概率、土地利用转换规则和初期土地利用分布现状的基础上，根据总概率 $TPROP$ 大小对土地利用需求进行空间分配的过程。这种分配是通过多次迭代实现的，具体的迭代分配过程^[24]如图 2 所示。

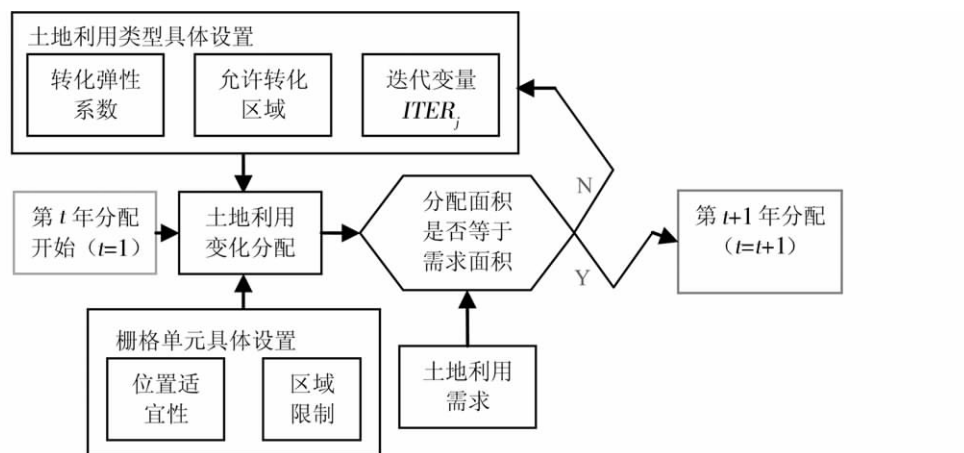


图 2 土地利用空间分配的迭代过程

Fig. 2 The iterative process of spatial allocation

$$TPROP_{i,j} = P_{i,j} + ELAS_j + ITER_j \quad (2)$$

式中， $TPROP_{i,j}$ 为栅格 i 上土地利用类型 j 的总概率； $P_{i,j}$ 是通过 Logistic 回归方程求得的土地利用类型 j 在栅格 i 中出现的概率； $ITER_j$ 是土地利用类型 j 的迭代变量； $ELAS_j$ 是土地利用类型 j 的 $ELAS$ 参数。

(1) 确定栅格系统中“允许参与土地利用转化的栅格”。“不允许转化的保护区栅格或限制区栅格”将不参与计算。

(2) 根据公式 (2) 计算栅格 i 土地利用类型 j 的总概率。

(3) 对各土地利用类型赋相同的迭代变量值 ($ITER_j$)，按照每一栅格对不同土地利用类型分布的总概率 ($TPROP$) 从大到小对各栅格的土地利用变化进行初次分配。

(4) 比较不同土地利用类型初次分配面积和需求面积。若土地利用类型初次分配面积大于需求面积，就减小 $ITER_j$ 值；反之，就增大 $ITER_j$ 值，再进行土地利用变化的第二次分配。

(5) 重复第 (2) ~ (4) 步，直到各土地利用变化的分配面积等于需求面积为止，然后，保存该年的分配图并开始对下一年土地利用变化的分配。

在 CLUE 模型中，对土地利用空间格局的实际分配变化不仅仅取决于各栅格单元本身特性和 Logistic 逐步回归结果，而且也考虑了研究区的各种土地利用需求对这种空间

分配的影响^[25]。

4 模拟结果

4.1 土地利用类型空间分布

基于“一切照常情景”、“规划情景”和“优化情景”三种情景设定,将上述参数设置分别输入到 CLUE 模型中,以 2000 年为基准年,模拟得出江西省 2001~2030 年的土地利用变化空间分布,如图 3 所示。

4.2 模拟结果检验

首先,根据 logistic 回归分析结果,通过 ROC 值对驱动因子的解释能力进行检验。回归效果使用 Pontius 等提出的 ROC 方法进行检验,ROC 曲线是一种评价和检验回归模型结果的有效方法^[26]。该方法有助于从许多影响土地利用格局的影响因子中筛选出相关性较为显著的因子,那些对解释土地利用格局不显著的变量将在最后的回归结果中被剔除^[27]。所选驱动因子基本可以解释土地利用格局的分布情况:其中,湿地的 ROC 值最高 0.867,说明对湿地的解释能力较好;而中低密度森林和灌丛的 ROC 较低 0.557,这主要是因为部分低密度森林和灌丛因为长势较好而转变成高密度森林,而其他丘陵地区则因为进行植树造林而转变成了低密度森林和灌丛。表面看来,低密度森林和灌丛总面积变化不大,但是空间位置上确有了一定差异,因此难以用一个连续的自然特征来对其分布特征进行描述。

其次,运用 Kappa 指数对模拟结果进行检验。使用基于 TM 影像解译的 2005 年的土地利用现状图对 2005 年土地利用模拟图进行检验(图 4)。模拟正确的栅格数为 129188,占总栅格数的 77.4%,Kappa 指数为 75%。因为本文使用的是 1km 分辨率的空间数据,模拟得到 1km 分辨率的 2005 年模拟图,而本文所使用的 2005 年验证现状图 of 100m 分辨率,虽然用更高精度的数据来验证本文的模拟数据,但是整体趋势依然吻合较好,可见模拟的精度较高。

4.3 模拟结果分析

根据模拟结果统计出 2001~2030 年在“一切照常情景”、“规划情景”和“优化情景”下,江西省各类型土地利用变化趋势分析如下:

(1) 一切照常情景

江西省的耕地、河流等人类生存所必须的土地类型持续减少,如果不加控制,粮食和水资源供给将受到影响。到 2030 年,鄱阳湖区环湖出现了大片建设用地,湖区生态环境进一步遭到人类威胁。

江西省 2001~2030 年土地利用具体变化如下(图 5):1)林地面积总体减少 0.02%。主要由于低密度森林和灌丛面积减少。其中,赣州、吉安和宜春市高密度森林有所增加。2)草地面积在减少,减幅约 2.8%;3)湿地增长 15.7%,但是河流面积却减少 7.5%。新增长的湿地主要分布在上饶市的东部和赣北的彭泽县。赣江、抚河等河流的支流有断流出现,鄱阳湖因为水位降低导致水面面积缩小,湖边露出水面的地方转化为湿地,部分湿地则进一步转化为林地或草地。鄱阳湖湖边也有部分湿地转化成建设用地。4)建设用地急剧增加,面积增长翻一番,沿江、环湖建设用地增加尤为明显。5)耕地面积减少约 3%,主要是建设用地占用,以及退耕还林、退田还湖等政策实施的影响。

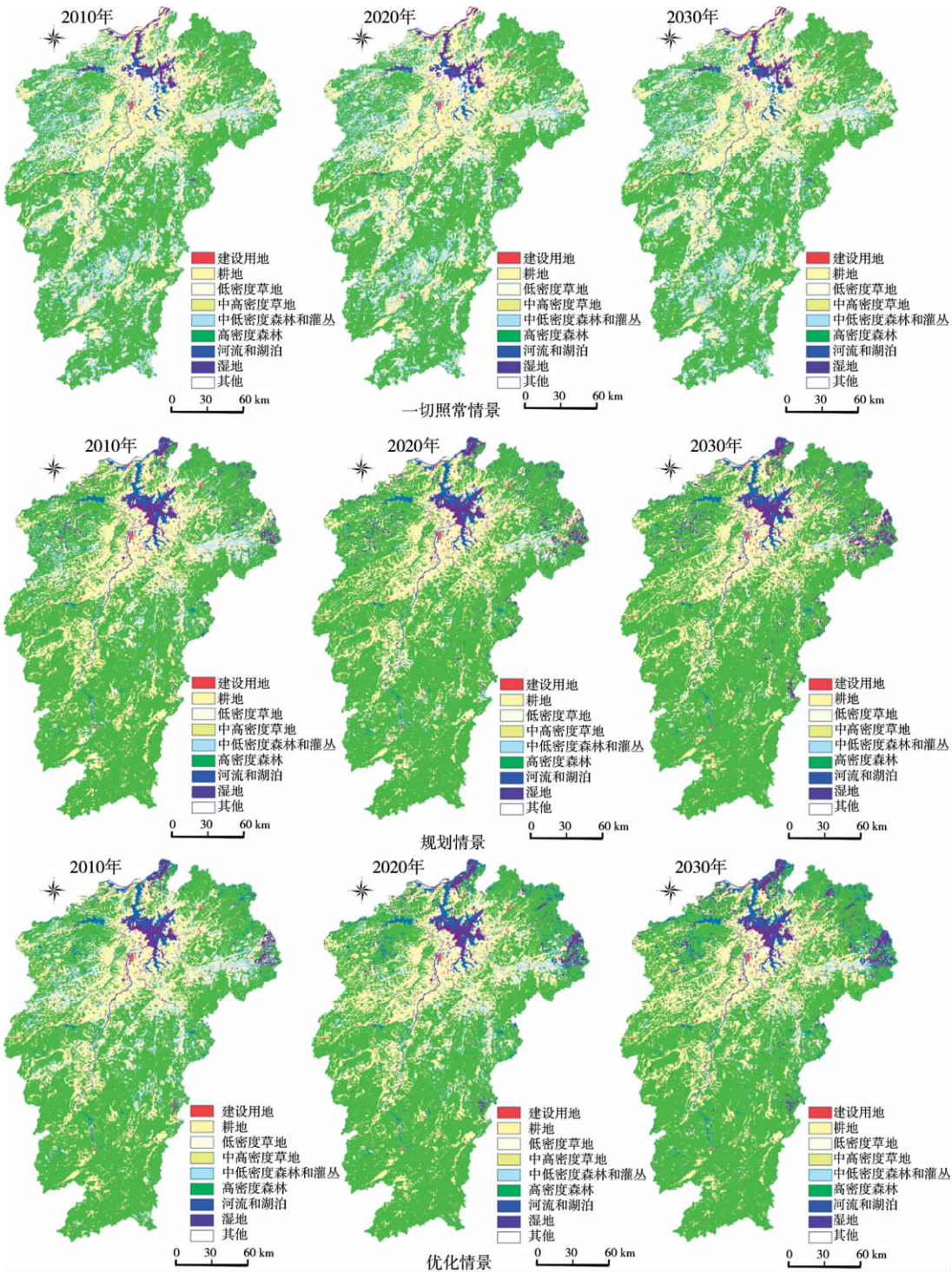


图 3 三种情景下土地利用变化模拟结果

Fig. 3 Simulation results of land use change under three scenarios

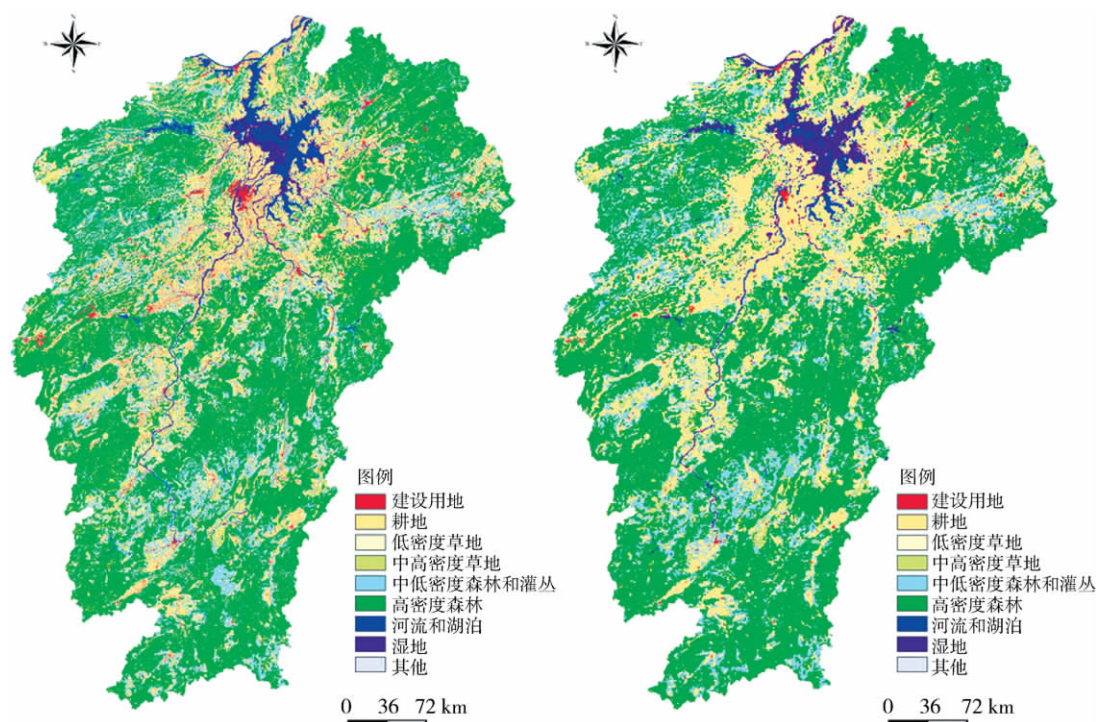


图 4 2005 年江西省土地利用现状图 (左) 及模拟图 (右) 比较

Fig. 4 The comparison between the simulated and real land use of Jiangxi in 2005

(2) 规划情景

相比“一切照常情景”，鄱阳湖区未出现新的建设用地，且林地面积和密度都在增大，江西省的生态状况明显改善。

江西省 2001~2030 年土地利用变化表现如下 (图 6): 1) 林地面积总体略有增加 0.72%，主要高密度森林面积在增加 32%。其中，中低密度森林和灌丛及草地面积逐渐转化为高密度森林；2) 草地几乎消失殆尽。因为草地被耕地、建设用地、林地等占用；3) 湿地面积大幅增长，约增长 2 倍，河流面积略有下降。上饶市的东部、宜春市、九江市的彭泽县和抚州市东南部出现了大片湿地；4) 建设用地增加 51%。增加建设用地主要分布在沿江的彭泽县、环湖的都昌县和赣州市境内等地；5) 耕地面积略有增加。

(3) 优化情景

较之“一切照常情景”和“规划情景”，不仅有效控制了建设用地面积，而且新增大片湿地，江西省生态状况得到合理优化。

江西省土地利用变化表现为如下几点 (图 7): 1) 林地面积总体略有减少 1.1%。主要高密度森林面积增幅有所降低，增长约 29%，鄱阳湖湖区周围出现了少量的林地；2) 草地面积仍然在减少，情况与“规划情景”相同；3) 河流和湖泊、湿地面积都大幅增长，增幅为 26% 和 203%。鄱阳湖湖区水面面积在扩大，九江市的彭泽县和湖口县、上饶市的最东部出现大片湿地；4) 建设用地和耕地面积都略有增加。建设用地与耕地和“基于规划”情景中的趋势基本保持一致。

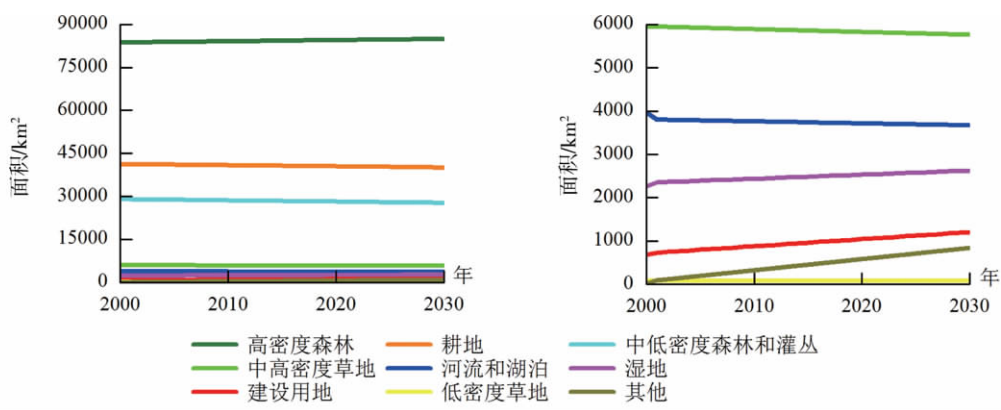


图5 一切照常情景：江西省2001~2030年土地利用面积变化

Fig 5 Business as Usual Scenario; Land use area change of Jiangxi from 2001 to 2030

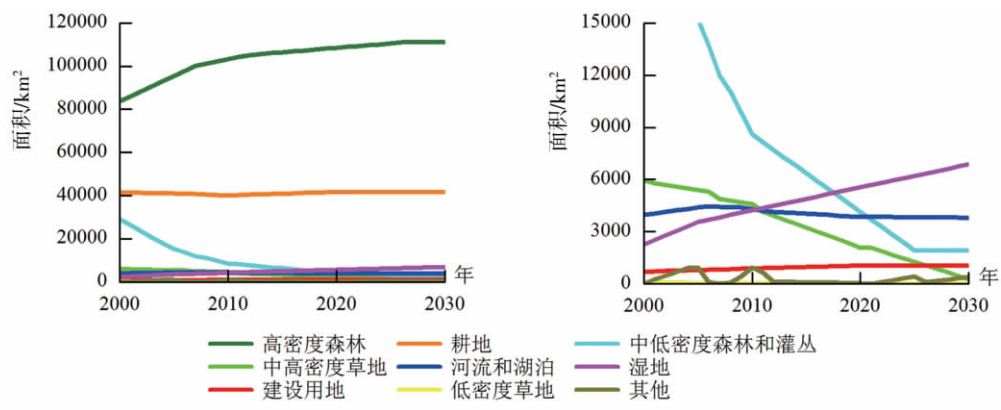


图6 规划情景：江西省2001~2030年土地利用变化

Fig. 6 Planned Scenario; Land use area change of Jiangxi from 2001 to 2030

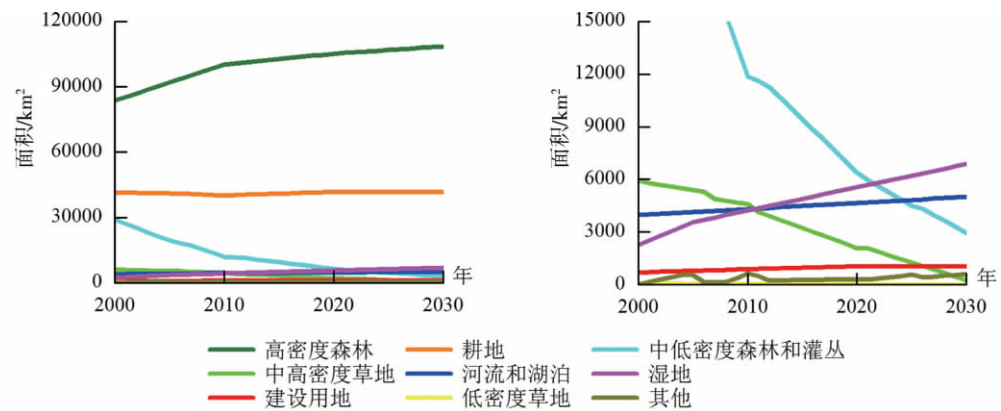


图7 优化情景：江西省2001~2030年土地利用面积变化

Fig 7 Optimum Scenario; Land use area change of Jiangxi from 2001 to 2030

5 结论与讨论

5.1 结论

土地利用变化是景观中不同尺度上的社会、经济和自然地理驱动因子和土地利用类型之间相互竞争的结果。本文采用 CLUE 模型, 基于 GIS 分析和统计分析, 对“一切照常情景”、“规划情景”和“优化情景”下江西省的 2001~2030 年土地利用变化进行模拟。

(1) CLUE 模型具有较好的解释土地利用空间格局变化的能力。模型综合分析土地利用的空间分布概率图, 土地利用转化规则、土地变化趋势及研究初期土地利用分布现状图的基础上, 根据总概率大小对土地利用需求进行空间分配。运用 2005 年土地利用现状图, 检验该模型在土地利用情景模拟中的准确性, 模拟结果与实际情况一致性较好, Kappa 值达到 75%。模拟结果表明, 该模型能较好的模拟江西省土地格局的动态变化, 总体上能满足研究与预测需要。

(2) 基于“一切照常情景”、“规划情景”和“优化情景”三种情景设定, 研究将不同的土地利用方式、不同的政府部门规划目标及不同的生态优化目标思想融入模型后, 土地利用的变化发展方向。鄱阳湖区是变化最明显的地方, 三种情景下, 湖区生态状况由退化到优化, 周边建设用地也逐渐撤离湖区, 建设用地由围湖而建到逐渐分布到其他地区。三种情景下截然不同的土地利用发展态势, 对政府部门治理鄱阳湖和加强城市建设具有重要的辅助决策作用, 国土部门可以根据预测结果进行规划修编并采取有效的预防措施。

5.2 讨论

(1) 本文选取了 17 个驱动因子辅助模型预测, 驱动因子涵盖社会经济、气象、地形、土壤等因素, 一定程度上提高了 CLUE 模型的预测结果。本文结果与《中国生态系统服务与管理战略》的全国范围研究结果对比, 有三个共同结果: 1) 江西北部湿地面积大幅度增加; 2) 江西省湿地增加的面积大都分布在赣北, 主要分布在九江市的最北部和上饶市的最东部; 3) 森林密度整体在提高, 尤其是赣南地区。由于全国所用的数据分辨率为 2km, 以中国国界为边界, 而本文数据分辨率为 1km, 以江西省省界为边界, 因此模拟结果也有不同之处: 1) 研究尺度不同, 结果稍有偏差。如增长的湿地面积, 在本文主要分布在九江市、上饶市和南昌市, 而在全国范围内在这一地区湿地主要分布在长江沿线地区, 这是由于 CLUE 模型是基于地理学的分析工具, 它捕获的是土地利用变化空间特征, 不同的空间尺度下最适宜地区会有差异; 2) 精度不同导致结果精细程度不同, 本文由于分辨率更高模拟结果更加精细。

(2) 土地利用变化是一个自然和人为因子共同作用的结果, 有些影响土地利用变化的驱动因子具有不确定性。如 2008 年的南方雨雪冰冻灾害等自然灾害对土地利用变化的影响, 使部分高密度森林因雪灾冻坏大片死亡而降为低密度。从理论上讲, 退田还湖工程应当将历史时期围湖造田的耕地大规模转变为天然湿地或湖泊^[28]。但由于粮食补贴政策的实施, 已经变为湿地、湖泊的土地又重新转为耕地等, 导致土地利用类型反复发生变化。如何克服这类不确定性对模型预测的影响是土地利用变化模型模拟的难点。

(3) “一切照常情景”中对 2001~2030 年土地利用类型的预测, 因为数据源有限, 目前只是基于 1990~2000 年的土地利用变化遥感数据, 如果能够获得更长时间段的历史数据为本文提供支持, 预测结果将会更加准确。

(4) 目前的土地利用变化研究只是停留在土地利用变化本身, 对过去土地利用变化

过程的研究,而本文则通过对江西省土地利用变化过去和现状的分析,预测并模拟未来土地利用变化。预测的结果可以为生态系统服务等进一步研究提供数据支持,如把土地利用变化作为衡量生态系统服务变化的指标,把土地利用变化作为生物多样性的主要驱动力等,进而来研究土地利用格局变化对生态系统服务的影响。如何把土地利用变化和水源涵养服务研究结合起来,将是进一步研究的重点。

参考文献:

- [1] Verburg P H, Overmars K P. Dynamic simulation of land-use change trajectories with the Clue-S Model. *Modelling Land-Use Change*, 2007, 40(v): 321~335.
- [2] Wytse Engelsman. Simulating land use changes in an urbanizing area in Malaysia, http://www.yangtzeffloods.ac.cn/land_use_model.pdf, 2010-12-01.
- [3] Kok K, Winograd M. Modeling land use change for Central America: With special reference to the impact of hurricane Mitch. *Ecological Modeling*, 2002, 149:53~69.
- [4] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展. *地理学报*, 2009, 64(4): 456~468.
- [5] Verburg P H, Eickhout B, Van Meijl H. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *The Annals of Regional Science*, 2008, 42(1): 57~77.
- [6] 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. *生态学杂志*, 2008, 27(2): 235~239.
- [7] 蒙吉军,严汾,赵春红. 大城市边缘区土地利用变化模拟研究——北京市昌平区为例. *应用基础与工程科学学报*, 2010, 18(2): 197~207.
- [8] 邵全琴,赵志平,刘纪远,等. 近 30 年来三江源地区土地覆被与宏观生态变化特征. *地理研究*, 2010, 29(8): 1439~1451.
- [9] 陈文波,郑蕉,鄢帮有. 鄱阳湖区土地利用景观格局特征研究. *农业工程学报*, 2007, 23(4): 79~83.
- [10] 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. *地理研究*, 2010, 29(3): 460~470.
- [11] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究:寻求新的综合途径. *地理研究*, 2001, 20(6): 645~652.
- [12] Foley J A, Defries R, Asner G P, *et al.* Global consequences of land use. *Science*, 2005, 30 (9): 570 ~ 574.
- [13] 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. *地理研究*, 2005, 24(2): 206~212.
- [14] 王晓鸿,鄢帮有,吴国琛,等. *山江湖工程*. 北京: 科学出版社, 2006.
- [15] 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. *中国科学:D辑*, 2002, 32(12): 1031~1043.
- [16] 余婷,柯长青. 基于 CLUE-S 模型的南京市土地利用变化研究. *测绘科学*, 2010, 35(1): 186~188.
- [17] 陈宜瑜, Beate Jessel. *中国生态系统服务与管理战略*. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [18] 汪齐松,曾永年,杨灿,等. 基于 CLUE-S 模型集成设计的关键问题研究. *测绘科学*, 2010, 35(3): 196 ~ 197.
- [19] 王济川,郭志刚. *Logistic 回归模型-方法与应用*. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [20] Carvalho-Ribeiro S M, Lovett A, O'Riordan T. Multifunctional forest management in Northern Portugal: Moving from scenarios to governance for sustainable development. *Land Use Policy*, 2010, 27: 1111~1122.
- [21] Spangenberg J H. Integrated scenarios for assessing biodiversity risks. *Sustainable Development*, 2007, 15: 343~356.
- [22] Verburg P H, Schulp C J E, Witte N, *et al.* Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 114: 39~56.
- [23] Sala O E, Chapin F S 3rd, Armesto J J, *et al.* Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287 (5459): 1770~1774.
- [24] 王丽艳,张学儒,张华,等. CLUE-S 模型原理与结构及其应用进展. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(3): 73~77.
- [25] 沈琪. 小流域土地利用变化模拟研究-以天水市罗峪沟流域为例. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2006. 16~34.
- [26] Pontius R G, Schneider L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, 85(1-3): 239~248.
- [27] 张学儒,王卫,等. 唐山海岸带土地利用格局的情景模拟. *资源科学*, 2009, 31(8): 1392~1399.
- [28] 姜鲁光,封志明,于秀波,等. 退田还湖后鄱阳湖区洪水调蓄功能的多情景模拟. *资源科学*, 2010, 32(5): 817~823.

Scenarios analysis of land use change based on CLUE model in Jiangxi Province by 2030

GUO Yan-feng^{1, 2}, YU Xiu-bo¹, JIANG Lu-guang¹, ZHA Liang-song²

(1. Key Lab of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and
Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241003, Anhui, China)

Abstract: Using CLUE (The Conversion of Land Use and its Effects) model based on GIS spatial analysis and statistics, this paper introduced three scenarios ("Business as Usual Scenario", "Planned Scenario" and "Optimal Scenario") to simulate the land use spatial change in Jiangxi Province from 2001 to 2030.

The paper has developed three scenarios on land use change to conduct a comparative analysis. Scenarios provide an effective tool to assess the risks of current land use patterns and the policy options, and offer more comprehensive and meaningful scientific information to policy-makers from different approaches by taking various factors into account. As a result, scenario analysis plays a critical role in this study, where nine types of land use are identified to show what might take place under different scenarios.

This model is applied to simulate the future land use scenarios in the next three decades, and to validate the simulated results with the land use map in 2005. The validation suggests that the model has accurately positioned the simulated results to an appropriate spatial location.

The results are shown as follows. (1) "Business as Usual Scenario". The arable lands continue to decline, and lands for construction purposes increase sharply, while forested land areas remain stable. (2) "Planned Scenario". The arable lands continue to grow, and lands for construction purposes increase slightly and remain unchanged in 2020; forested land areas show a slight change, and high-density forest areas grow; the areas of rivers and lakes decrease marginally; while the areas of marshes and peat lands grow rapidly. (3) "Optimal Scenario". The forest areas grow relatively slowly than that under "Planned Scenario"; while all the areas of rivers and lakes, marshes and peat lands increase significantly. The study also suggests that the CLUE model is very powerful in predicting the future land use change, and the land use changes under different scenarios vary greatly in spatial distribution. The results are expected to provide reference for future development and revision of land use planning, as well as for sustainable land management in the study area.

Key words: CLUE model; land use change; scenario analysis; Jiangxi Province