



浙江师范大学学报(自然科学版)

Journal of Zhejiang Normal University(Natural Sciences)

ISSN 1001-5051,CN 33-1291/N

《浙江师范大学学报(自然科学版)》网络首发论文

题目: 基于 GeoSOS 模型的金华市土地利用变化动态模拟
作者: 陶伟, 刘译泽, 孙清, 陈梅花, 帅艳民
DOI: 10.16218/j.issn.1001-5051.2024.020
收稿日期: 2023-03-07
网络首发日期: 2023-11-29
引用格式: 陶伟, 刘译泽, 孙清, 陈梅花, 帅艳民. 基于 GeoSOS 模型的金华市土地利用变化动态模拟[J/OL]. 浙江师范大学学报(自然科学版).
<https://doi.org/10.16218/j.issn.1001-5051.2024.020>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于 GeoSOS 模型的金华市土地利用变化动态模拟

陶伟¹, 刘译泽², 孙清², 陈梅花¹, 帅艳民^{1,2}

(1. 浙江师范大学地理与环境科学学院, 浙江金华 321004; 2. 辽宁工程技术大学测绘与地理信息科学学院, 辽宁阜新 123000)

摘要:为进一步认识土地利用/覆盖变化的内在机制和政策宏观调控的理论依据,以金华市为例,选取 GeoSOS 中 ANN-CA, DT-CA, Logistic-CA 共 3 种元胞自动机模型,建立转换规则,并基于 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期土地利用专题信息开展动态模拟,通过对比 3 种模型并选取性能最优者预测金华市 2030 年土地利用情况。结果表明:1) ANN-CA, DT-CA, Logistic-CA 模拟的 Kappa 系数分别为 0.801, 0.798, 0.800, 误差较小且均能正确反映金华市土地利用变化;2) 模型内部机制不同使所得结果存在一定的差异,综合模拟时间、精度和效果考虑,最优模型为 Logistic-CA;3) 预测得到的金华市 2030 年土地利用表明,2020—2030 年间,城市扩张趋势与前 10 年保持一致,进一步向中部地区延伸。利用 GeoSOS 对金华市土地利用变化进行模拟及预测,能够直观地反映城市扩张现状及未来发展趋势,可以为地区发展规划提供决策支持。

关键词:土地利用/覆盖变化;金华市;GeoSOS;元胞自动机;预测

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1001-5051(2024)0X-000-08

Dynamic simulation of land use and cover change in Jinhua based on GeoSOS

TAO Wei¹, LIU Yize², SUN Qing², CHEN Meihua¹, SHUAI Yanmin^{1,2}

(1. College of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China; 2. College of Surveying and Mapping and Geographical Sciences, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: To further understand the intrinsic mechanism of land use, cover change and the theoretical basis for policy macro-regulation, three cellular automata models, ANN-CA, DT-CA, and Logistic-CA in GeoSOS, were selected to establish transformation rules, dynamic simulations were then conducted based on three periods of land use thematic information in 2000, 2010 and 2020. By comparing the three models, the model with the best performance was adopted to predict the land use situation in Jinhua in 2030. The results showed that: 1) The Kappa coefficients of ANN-CA, DT-CA, and Logistic-CA simulations were 0.801, 0.798, and 0.800, respectively, with small errors and all of them could correctly reflect the land use changes in Jinhua; 2) The different internal mechanisms of the model led to variations in the obtained results; Considering the comprehensive simulation time, accuracy and effect, the Logistic-CA model was determined to be the optimal

收文日期:2023-03-07;修订日期:2023-05-15

基金项目:国家自然科学基金面上基金资助项目(42071351);辽宁工程技术大学智慧农业创新团队资助项目(LNTU20TD-23);大学生创新创业训练计划项目(S202110147036;S202110147026)

作者简介:陶伟(1999—),男,浙江台州人,硕士研究生。研究方向:遥感与 GIS 应用。

通信作者:帅艳民。E-mail: shuaiym@ms.zjhu.ac.cn

model; 3) The land use of Jinhua in 2030, as indicated by the prediction, would show that the urban expansion trend during 2020—2030 remain consistent with the previous decade and further extends to the central region. The simulation and prediction of land use changes in Jinhua using GeoSOS could intuitively reflect the current status of urban expansion and future development trends and provide decision support for regional development planning.

Key words: land use and cover change; Jinhua; GeoSOS; cellular automata; prediction

0 引言

科技的迅猛发展极大增强了人们的创新和改造能力,极端气候事件频发及人为因素对地表覆被的扰动日趋加剧,这对土地利用信息提取与监测研究不断提出新挑战。20 世纪 90 年代以来,“国际全球变化的人文因素计划”(International Human Dimensions Programme, IHDP)和“国际地圈和生物圈计划”(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)2 个组织展开了一系列有关土地利用/覆盖变化(land use and cover change, LUCC)的科研项目^[1],旨在揭示由人类社会发展引起的地球表层环境变化。不仅频发的极端气候或自然灾害(如林火、干旱、洪涝、滑坡、地震等)对局部地表覆被类型造成显著改变,人类活动也会导致土地利用发生大量改变,如城市扩展、森林砍伐、退耕还林及南水北调等生态修复工程^[2]。土地利用类型的变化,如森林砍伐、环境污染导致的土壤退化等,不仅会改变地表覆被、促进土地利用合理布局和提高资源利用率,还可能导致物种的减少、迁移甚至灭绝或者造成土壤沙化和生态环境恶化等问题^[3]。因此,准确的土地利用动态变化信息是开展相关研究的基础需求^[4]。

随着土地利用变化研究的兴起,针对土地利用变化模拟的模型也应运而生。较为主流的有系统动力学模型^[5]、马尔科夫链模型^[6]、CLUE-S 模型^[7]、Multi-Agent 模型^[8]和元胞自动机模型等,其中,系统动力学模型和马尔可夫链模型对土地利用变化情况的时空格局模拟不足,而 CLUE-S 模型和 Multi-Agent 模型则对土地利用变化的局部模拟略显乏力。20 世纪 40 年代末提出的元胞自动机被证明能够模拟复杂的地理现象^[9],亦在土地利用变化、城镇开发边界划定等领域得到了广泛运用^[2,10-11]。Robinson 等^[12]整合了效用理论、逻辑回归和元胞自动机,用该模型评估土地利用

变化对人类的影响,得出集群化产业发展增加了人类福祉等结论;杨俊等^[13]注重各种地类之间的相互影响,提出土地利用竞争元胞自动机模型,并用于模拟 1998—2009 年间大连市经济开发区土地利用变化情况,取得较好效果;王鹤等^[14]提出了顾及不同非城市用地差异的极限学习机元胞自动机模型,相比于传统神经网络和逻辑回归方法精度有所提高。尽管前人针对元胞自动机开展了大量研究,但大多聚焦于方法的耦合,仅从精度的提升单方面评判模型的优劣,且鲜有研究提供系统、实用的框架,难以根据决策需要而提供技术支持,忽视了模型的实际效用性。

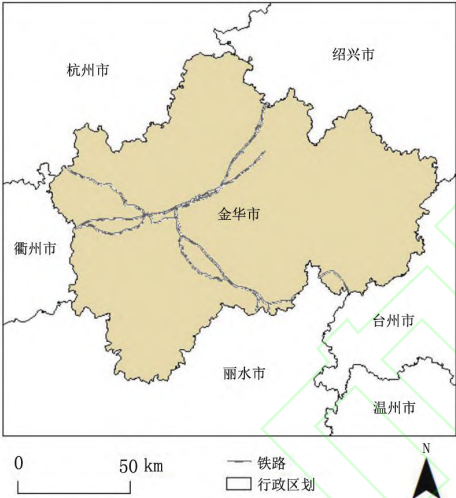
GeoSOS 系统提供了一个系统的空间模拟与优化框架,它是黎夏等^[15]针对有效模拟土地利用与覆盖变化和解决城市扩展中城镇开发边界划定及生态保护区划定等问题而研发提出的。该系统包括人工神经网络 CA (ANN-CA)、决策树 CA (DT-CA)、逻辑回归 CA (Logistic-CA) 及蚁群优化等空间优化模型,在全球范围内已有超过 100 个地理研究实例^[2],为国土空间规划提供重要技术方法,支撑规划实践工作并辅助决策支持。本文则通过 GeoSOS,利用金华市的土地利用分类数据及各类空间影响因子数据,获取转换规则并对其土地利用变化进行模拟和预测,分析金华市土地利用动态变化进展和未来趋势。

1 研究区域与数据

1.1 研究区概况

金华市位于浙江省中部,与杭州、台州、绍兴等地接壤,经纬度界于东经 119°14′~120°46′30″,北纬 28°32′~29°41′(见图 1)。市域地处浙中丘陵盆地,地势南北高而中部低。山地区域以海拔 500~1 000 m 的低山为主,散布低矮缓丘。亚热带季风气候条件下,四季分明,雨热条件好。植被类型为亚热带常绿阔叶林,林地中分布许多经济林,带来良好的经济收

益;农作物以水稻为主,但近些年来许多稻田改种其他经济作物.金华市为省辖地级市,下辖婺城区、金东区、武义县、浦江县、磐安县、兰溪市、义乌市、东阳市和永康市,土地面积 10 942 km².“八八战略”的贯彻落实及全国性综合交通枢纽的建设,给小商品市场带来了空前的发展机遇,此外,得益于《浙江省城镇体系规划(2011—2020)》政策支持下金义都市区的大力建设,及奋力打造浙中城市群核心区的宏观目标,21 世纪以来,金华市土地利用变化剧烈.截至 2021 年底,全市常住人口数 712 万人,其中城镇人口 488.8 万人,农村人口 223.2 万人,城镇化率为 68.7%.



注:基于自然资源部标准地图服务网审图号为浙 S(2022)34 号的标准地图制作,底图边界无修改,下同

图 1 金华市行政区划

1.2 数据获取与处理

根据研究需要,本文采用金华市行政区划矢量边界、土地利用专题信息和相关空间影响因子数据.土地利用分类数据为 GlobeLand30 数据集 (<http://www.globallandcover.com/>),分辨率为 30 m,总体精度在 80% 以上.为了使土地利用类型更加标准化、规范化,将金华市原有的土地利用分类按照 2017 年发布的《中华人民共和国土地利用现状分类》进行归类处理,将林地和灌木地归到林地大类,湿地和水体归到水域大类,得到耕地、林地、草地、水域、人造地表和裸地共六大类.空间影响因子数据包括某位置与城市的距离、与铁路的距离、与城市快速路的距离、与普通公路的距离、人口数据 (POP)、GDP 和数字高程模型 (digital elevation model, DEM),利用 ArcGIS 软件统一上述因子行列数和像元大小,并与土地利用分类数据一致,再进行归一化处理.其中,本次使用的路网矢量数据来源于 OpenStreetMap (<https://master.apis.dev.openstreetmap.org/export#map=6/30.553/119.355>);2021 年全国城市点位数据从国家统计局官网以及百度地图开放平台获取;从地理空间数据云获取金华市的 ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程模型数据;GDP 数据来源于 <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.17004523.v1>^[16];人口 (POP) 栅格数据来源于 WorldPop 中心 (<https://hub.worldpop.org/geodata/summary?id=29808>) 的 2010 年中国人口数据.以上数据使用的坐标系统一为 WGS_1984_World_Mercator.具体见图 2.

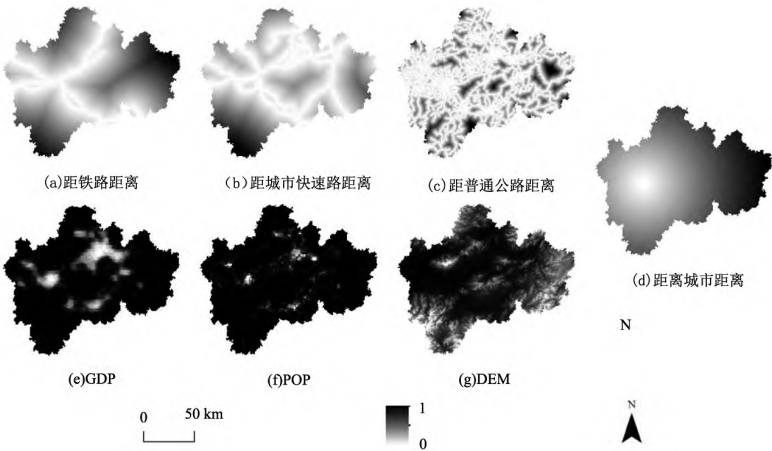


图 2 空间影响因子数据

2 研究方法

本次数据处理使用的软件主要是 ArcGIS,并使用了 GeoSOS 插件(https://www.geosimulation.cn/index_chs.html). GeoSOS 包括 ANN-CA, DT-CA, Logistic-CA 共 3 种元胞自动机模型及蚁群优化等空间优化模型. 其中, ANN-CA 计算公式为

$$P(k, t, l) = [1 + (-\ln \gamma)^\alpha] \times P_{\text{ANN}}(k, t, l) \times \Omega_k^t \times \text{con}(S_k^t). \quad (1)$$

式(1)中:元胞 k 于时刻 t 的第 l 种土地利用类型转换概率 P =随机因素 \times 人工神经网络计算概率 \times 领域发展密度 \times 转换适宜性; $[1 + (-\ln \gamma)^\alpha]$ 为随机因素; $P_{\text{ANN}}(k, t, l)$ 为某种土地利用类型的转换概率; Ω_k^t 为邻域窗口中城市用地的密度,即城市用地元胞总数/邻域窗口栅格总数; $\text{con}(S_k^t)$ 为任意 2 种土地利用类型之间的转换适宜性,以数值 1 和 0 分别代表可以转换和不能转换. 最后把计算得到的转换概率与设定的值为 0~1 的转换阈值进行比较,如果大于等于阈值,则发生土地利用类型之间的转换^[17].

DT-CA 需要根据决策树规则判断某元胞的土地利用类型是否向城市用地转化,若可以,则根据领域窗口内城市用地的比例计算领域发展密度,如果其大于阈值,则该元胞可转化为城市用地^[18].

$$P_g = \frac{\exp z}{1 + \exp z}; \quad (2)$$

$$z = a + \sum_{i=1}^n b_i x_i; \quad (3)$$

$$\Omega_k^t = \frac{\sum \text{con}(S_k)}{3 \times 3 - 1}; \quad (4)$$

$$P'_C = P_g \text{con}(S_k^t) \Omega_k^t; \quad (5)$$

$$P'_t = P'_C \exp[1 - \delta(1 - P'_C / \max(P'_C))]; \quad (6)$$

$$P'_S(k) = qP'_t(k) / \sum_{i=1}^k P'_t(k); \quad (7)$$

$$S_k^{t+1} = \begin{cases} 1, & P'_S(k) > \text{rand}(k) \\ 0, & P'_S(k) \leq \text{rand}(k) \end{cases}. \quad (8)$$

Logistic-CA 首先通过公式(2)计算元胞为人造地表的概率 P_g ,其中 z 为影响因子的回归方程,用以描述元胞发展的特征. 式(4)中, Ω_k^t 为所定义邻域窗口中城市用地的密度,通过条件函数 $\text{con}(S_k)$ 判断是否为人造地表,并可计算得到联合概率 P'_C . 用户通过设置值为 1~10 的扩散参数 δ ,计算元胞转换概率,再通过式(7)得到发生预期

转换的缩放概率 P'_S . 其中, q 是在每次迭代时要转换的元胞数量. 最后将 $P'_S(k)$ 与取值为 0~1 的随机值 $\text{rand}(k)$ 进行比较来判断是否可发生转换^[19].

3 种元胞自动机的根本区别在于获取转换规则的方式不同,并且适用性也存在一定的差异. 借助 3 种元胞自动机,以金华市为例开展研究,具体步骤如图 3 所示.

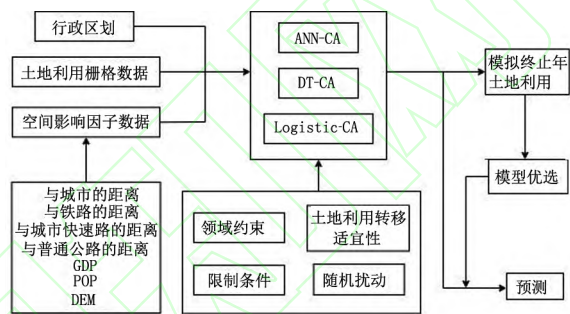


图 3 技术路线图

3 结果分析

3.1 模型模拟及对比

GeoSOS 模拟前首先需利用 2000 年和 2010 年已有数据建立先验知识,形成土地利用信息提取规则,再采用 CA 模型的不同优化策略进行 2010—2020 年的土地利用动态变化模拟. 在模拟中,耦合不同城市点位至道路和市中心距离、DEM、GDP、人口数据为空间影响因子数据,分别进行 ANN-CA, DT-CA, Logistic-CA 模拟. 其中,利用 ANN-CA 在进行人工神经网络元胞自动机模拟时,需要反复进行模型参数拟合以达到最佳模拟效果. 随着抽样比例及迭代次数的增多,训练时间大幅增加,但模型的训练精度提升甚微,故最终选择抽样比例为 5%、迭代次为 300 次、领域窗口大小为 7 进行训练,且训练数据/验证数据比值设定为 4/1. 通过设置转移适宜性矩阵来控制模拟,矩阵中以 1 表示可以发生地类转换,0 表示不能发生转换. 本文参考实际土地利用变化情况确定转换规则如表 1 所示. DT-CA, Logistic-CA 则需要判断各种类型是否可以转换为城市用地而非根据土地利用转移适宜性矩阵进行限制,专注于对城市扩张的模拟,本文设置如表 2 所示. 3 种 CA 模型模拟得到结果与实际土地利用对比如图 4 所示.

表 1 ANN-CA 土地利用转移适宜性矩阵

类型	耕地	林地	草地	水域	人造地表	裸地
耕地	1	1	0	0	1	0
林地	1	1	1	0	0	0
草地	1	1	1	0	1	0
水域	0	0	0	1	0	0
人造地表	1	0	1	0	1	0
裸地	1	0	0	0	1	1

表 2 DT-CA,Logistic-CA 土地利用类型转换判断

土地利用类型	类型性质
耕地	可转换为城市用地
林地	不可转换为城市用地
草地	可转换为城市用地
水域	不可转换为城市用地
人造地表	城市用地
裸地	可转换为城市用地

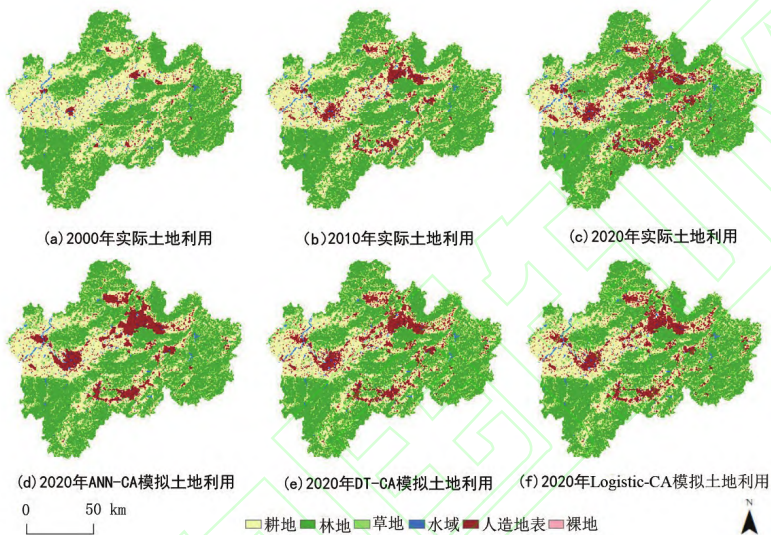


图 4 实际与模拟土地利用图

ANN-CA,DT-CA 和 Logistic-CA 模拟得到的土地利用总体精度分别为 87. 84%,87. 63%,87. 76%,Kappa 系数分别为 0. 801,0. 798,0. 800. 三者模拟得到的土地利用与实际土地利用对比如表 3 所示. 由表 3 可知,虽然 3 种元胞自动机模拟

出的土地类型像元数量与现实情况存在一定的差异,但是它们按照转换规则模拟生成的结果与实际土地利用情况十分接近,误差均不超过总像元的 1. 00%,且三者对人造地表的模拟均有着极高的精确度,误差控制在 400 个像元内.

表 3 3 种 CA 模型土地利用模拟比较

单位:像元

土地利用类型	实际土地利用	模拟土地利用		
		ANN-CA	DT-CA	Logistic-CA
耕地	540 125	554 000	554 592	554 158
林地	938 250	936 296	936 695	936 695
草地	79 469	74 018	73 027	73 656
水域	32 381	26 163	26 163	26 163
人造地表	177 579	177 393	177 392	177 198
裸地	78	1	2	1

尽管 3 种元胞自动机都有着较高的模拟精度,但三者 在模拟时存在一些区别. 其中,ANN-CA 适用于进行多类土地利用类型转换,Logistic-CA,DT-CA 在非城市用地向城市用地单类土地利用类型转换时更具优势. 分别将 3 种元胞自动机

的模拟效果图和实际土地利用图进行对比,可以发现,ANN-CA 对城市扩张模拟的目视解译效果不如 DT-CA,Logistic-CA,虽然说仍然表现出了城市扩张的总体趋势,但是 ANN-CA 容易在初始形态较大块的土地利用类型周围持续迭代,使之数

量持续增加,而对于小块土地的演化则比较缓慢,因此,它将许多本该零散分布的城乡建设用地如浦江县域范围、金东区 and 义乌市交界处等地分别连结成整体,而忽视了地域发展变化过程中建设用地容易表现出的斑块化的特点,且 ANN-CA 模型操作复杂度最高,模拟耗时最长,尤其是在处理高空间分辨率和大面积土地利用分类数据时效率远不如 DT-CA 和 Logistic-CA. 比较 Logistic-CA, DT-CA, 前者的优势在于通过训练获得回归系数时速度较快,训练时间较短,后者利用决策树分类获取转换规则的计算时间较长,且 DT-CA 无法控制随机扰动参数,在模拟时的变通性较差,而 DT-CA 的优势在于模拟耗时大幅短于 Logistic-CA. 再观察二者模拟效果,DT-CA 过于零碎化,体现在人造地表周围散落分布若干个单一像素点而未归

结成一个整体,且以原始人造地表为中心向外扩散较广,这是由于模型内置的决策树算法导致的,其通过归纳推理,使用足够大的训练样本集推演目标函数,并应用于模拟样本,若不根据判断预测的准确性进行“剪枝”,容易出现过拟合现象^[20]. Logistic-CA 则可以通过对扰动参数进行设置,其值越小,随机扰动越弱,根据实际需求进行合理的设置以模拟真实的城市用地扩张情况. 本文利用 Logistic-CA 模拟所得结果具有围绕大片人造地表分布小团块状人造地表的特征,与实际城乡建设用地在空间上呈斑块化分布的特点相贴合,且既没有 ANN-CA 表现出的过度连结情况,也不同于 DT-CA 的土地破碎化现象,目视效果较好. 综合操作复杂度、运行效率、精度和显示效果考虑,三者中性能最优者为 Logistic-CA. 具体见图 5.

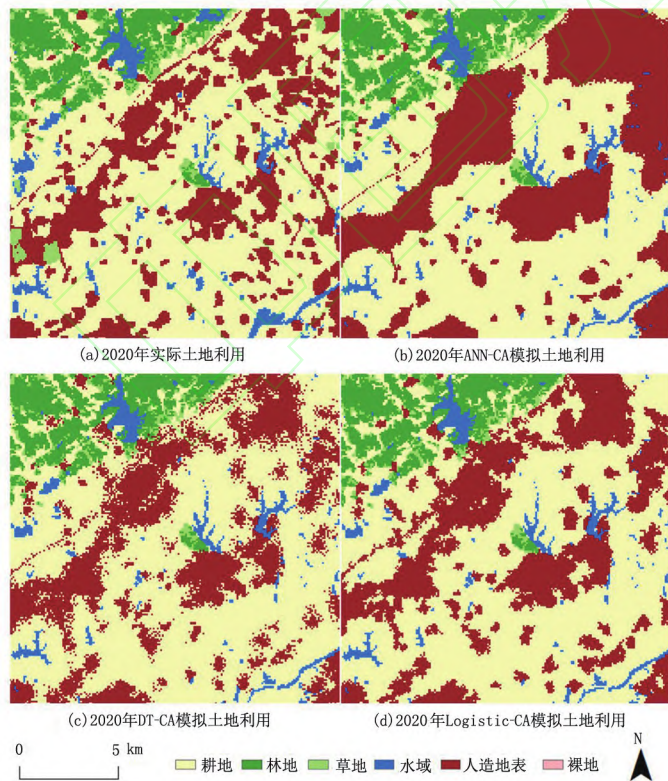


图 5 局部放大图

再观察 2010—2020 年实际土地转移和 Logistic-CA 模拟后得到的土地利用转移(见图 6),可见二者总体差异不大,所表达的土地利用转移的空间趋势基本保持一致,表现为:金华市人造地表变化剧烈且存在明显的区域差异,扩张主要呈面

状,尤其是婺城区、金东区、义乌市和东阳市,人造地表大幅扩大且渐趋集中;2010—2020 年,人造地表面积增长速度不及前 10 年,但仍保持着较高的建设速度,主要表现在婺城区和金东区交界处,人造地表向四周辐散式扩张及义乌市向金华市中

部发展,中部地区所表现的斑块化特征更加显著;此外,由于道路交通设施的完善带来的建设成本的降低,新建的人造地表不仅仅只围绕在原有的大片城乡建设用地周围,有许多以较小的聚集形式出现.实际与模拟土地利用图的高度相似再次证明,Logistic-CA 能够通过输入数据获取较准确

的转换规则,并将其成功地应用于模拟地类转换,对各种地类尤其是人造地表的空間分布及其空間变化情况的表达较为准确,在大范围城市扩张模拟中表现优异,可见模型具有较好的解释力,验证了 Logistic-CA 对复杂的土地利用类型变化进行模拟并提供规划指导的可行性.

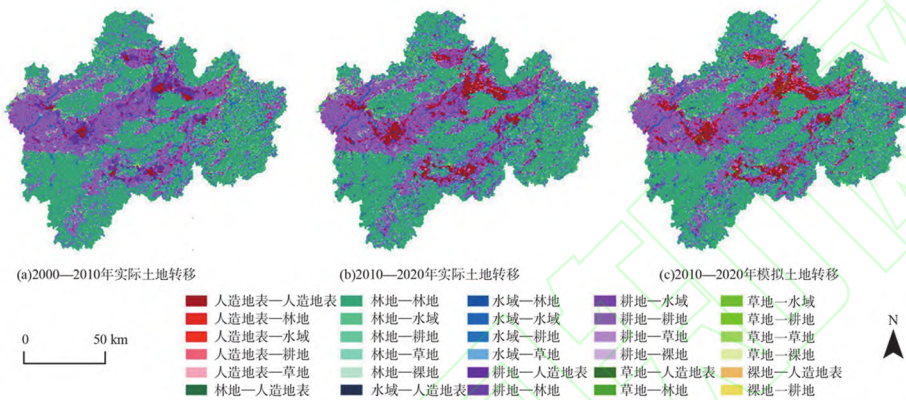


图 6 实际与模拟土地转移图

3.2 预测

综上,Logistic-CA 在保持出色的效率和较高的模拟精度的同时,对人造地表的空間连贯性以及分散性表达精确,模拟结果更符合实际土地利用变化情况,能够为决策者提供更为精确的分析结果,因此,使用 Logistic-CA 模型对金华市 2030 年的土地利用分类情况进行预测.在模型设置过程中,考虑就近时段土地利用变化规律类似,因此,以 2010 年和 2020 年的土地利用分类数据分别作为提取规则的初始和终止时段数据,采用 2020 年人口栅格数据和 2019 年 GDP 栅格数据代替原来的 2010 年的人口栅格和 GDP 栅格数据,并假定本文所取的其他空間影响因子数据在未来不会发生重大变化,参照 2010—2020 年金华市城乡建设用地转变速率,得出金华市 2030 年的土地利用情况如图 7 所示.

金华市 2030 年的模拟结果显示,模拟所得城市扩张方向及主要扩张地区与 2010—2020 年间的情况大致保持一致,主要集中在婺城区、金东区、义乌市和东阳市,向中部地区延伸的趋势更加明显,这符合在“八八战略”指引下加快融入长三角一体化高质量发展并强化金义都市区整合的宏观规划;且金华市城区和义乌市建设全国性交通枢纽速度加快,依靠错综复杂的道路网络,凭借交

通优势快速发展,空間辐射能力不断增强;位于南部的永康市、武义县人造地表面積也有不少增加,这与以永康科技五金城为龙头带动周边网点布局和构建贸易体系密切相关,城镇化水平不断提高;受益于地域效应,北部地区如浦江在自贸试验区即金义片区的影响下,仍保持着较高的发展速度.人造地表面積的进一步扩大导致耕地面积的不断减少,伴随着人口数量的增多,金华市未来可能将面临人口和粮食问题,对城乡的经济发展可能也会造成一定影响.

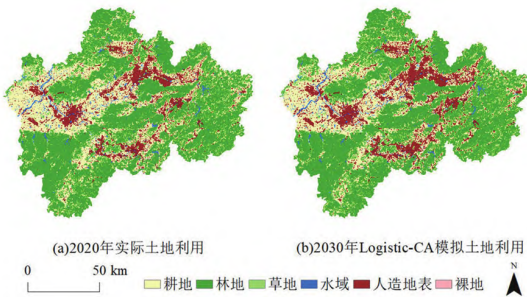


图 7 金华市 2030 年土地利用分类预测

4 结 论

本文以金华市为研究区,获取其 2000 年、2010 年和 2020 年的土地利用分类影像,并选取

距城市中心、铁路、普通公路和城市快速路的距离、DEM、GDP 和人口 7 个因素作为空间影响因子数据,利用 3 种 CA 模型对金华市 2010—2020 年的土地利用变化进行模拟、分析和对比,选取综合效果最好的 Logistic-CA 模型对金华市 2030 年土地利用情况进行了预测。得到的结论如下:

1) 人工神经网络元胞自动机、决策树元胞自动机、逻辑回归元胞自动机的总体精度分别为 87.84%, 87.63%, 87.76%, Kappa 系数分别为 0.801, 0.798, 0.800, 且 3 种模型对各种土地利用类型模拟的误差均不超过总像元的 1.00%。

2) 3 种模型都能够正确反映金华市土地利用变化趋势,但由于内部机制存在一些差异,模拟得

到的土地利用分类图像也有区别。综合模拟时间、模拟精度、模拟效果进行考虑,最优模型为 Logistic-CA 模型。此外,Logistic-CA 对土地利用空间变化的表达准确,在大范围的城市扩张中有着极好的效果,模拟结果具有一定解释力,证明其具有对复杂的地类变化进行模拟并提供决策支持的能力。

3) 利用 Logistic-CA 对金华市 2030 年的土地利用情况进行预测,可以发现模拟结果表现出与当前城市扩张方向及当前主要扩张地区的一致性,主要集中在婺城区、金东区、义乌市和东阳市,向中部地区延伸的趋势更加明显。通过合理的预测手段获取地区不同时段的发展规律,可以为当地城市扩张过程中的土地合理利用和规划落实提供一定的参考。

参考文献:

- [1] CHANG Y, HOU K, LI X, et al. Review of land use and land cover change research progress[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 113(1): 012087.
- [2] 李丹, 胡国华, 黎夏, 等. 耦合地理模拟与优化的城镇开发边界划定[J]. 中国土地科学, 2020, 34(5): 104-114.
- [3] 徐静. 基于 RS 和 GIS 的金华市区土地利用变化研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2012.
- [4] 戴尔阜, 马良. 土地变化模型方法综述[J]. 地理科学进展, 2018, 37(1): 152-162.
- [5] LAUF S, HAASE D, HOSTERT P, et al. Uncovering land-use dynamics driven by human decision-making-A combined model approach using cellular automata and system dynamics[J]. Environ Modell Softw, 2012, 27/28: 71-82.
- [6] JAMAL J A, MARCO H, WOLFGANG K, et al. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion[J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 2011, 21: 265-275.
- [7] VERBURG P H, SOEPBOER W, VELDKAMP A. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model[J]. Environ Manage, 2002, 30(3): 391-405.
- [8] BER F L, CHEVRIER V, DURY A. A Multi-Agent system for the simulation of land use organization[J]. IFAC Proceedings Volumes, 1998, 31(5): 169-174.
- [9] 黎夏, 叶嘉安. 知识发现及地理元胞自动机[J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2004, 34(9): 865-872.
- [10] 谢志文, 王海军, 张彬, 等. 城市扩展元胞自动机多结构卷积神经网络模型[J]. 测绘学报, 2020, 49(3): 375-385.
- [11] 高位, 涂伟, 李明晓, 等. 基于影响因子动态更新的都市圈国土-人口协同模拟[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(8): 1502-1511.
- [12] ROBINSON D T, MURRAY-RUST D, RIESER V, et al. Modelling the impacts of land system dynamics on human well-being: using an agent-based approach to cope with data limitations in Koper, Slovenia[J]. Comput Environ Urban, 2012, 36(2): 164-176.
- [13] 杨俊, 解鹏, 席建超, 等. 基于元胞自动机模型的土地利用变化模拟——以大连经济技术开发区为例[J]. 地理学报, 2015, 70(3): 461-475.
- [14] 王鹤, 曾永年. 城市扩展极限学习机模型[J]. 测绘学报, 2018, 47(12): 1680-1690.
- [15] 黎夏, 李丹, 刘小平, 等. 地理模拟优化系统 GeoSOS 软件构建与应用[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010, 49(4): 1-5.
- [16] CHEN J, GAO M, CHENG S, et al. Global 1 km × 1 km gridded revised real gross domestic product and electricity consumption during 1992—2019 based on calibrated nighttime light data[J]. Sci Data, 2022, 9(1): 1-14.
- [17] LI X, YEH A G O. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS[J]. Int J Geogr Inf Sci, 2002, 16(4): 323-343.
- [18] LI X, YEH A G O. Data mining of cellular automata's transition rules[J]. Int J Geogr Inf Sci, 2004, 18(8): 723-744.
- [19] WU F. Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions[J]. Int J Geogr Inf Sci, 2002, 16(8): 795-818.
- [20] HARRINGTON P. 机器学习实战[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.