

基于空间决策的区域城镇发展与农业生产 协调布局优化 ——以江西省临川区为例

赵 越, 罗志军, 曹丽萍, 钟 珊, 赵 杰

(江西农业大学江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室/国土资源与环境学院, 南昌 330045)

摘要: 科学地进行城镇发展空间与农业生产空间的划分,是解决城市无序发展问题和粮食安全问题的重要途径。本文以江西省临川区为例,借助 ArcGIS、GeoDa 等软件,对临川区耕地综合质量及其自相关关系进行评价,以此确定永久基本农田初步划定成果,采用多准则判断 CA 模型对城市扩张进行模拟,通过两方面结果的对比与调整,结合城市发展方向、发展模式和耕地国家利用等别,进行永久基本农田和城市开发边界的划定。结果表明:永久基本农田划定面积为 593.46 km²,初步划定结果主要分布于上顿渡镇、崇岗镇、河埠乡和荣山镇等耕地综合质量较高,且多为高一高聚集的区域。经过城市扩张模拟结果可知,临川区城市建设用地面积较为显著增加,主要增加面积分布于展坪乡、上顿渡镇以及钟岭街道。城市发展方向和城市扩张模型分析结果显示,临川区城市建设用地主要向西北、东南、西南方向扩张,扩张类型主要为蔓延式扩展。根据耕地国家利用等别将初步划定永久基本农田区分为可调入区与可调出区,从而进行永久基本农田区与城市开发边界的优化与协调,形成永久基本农田区与城市开发边界的最终成果。研究结果可为保护耕地资源、避免城市的无序扩张提供参考,也可为今后的划定工作提供借鉴。

关键词: 耕地;城市开发边界;自相关;城市扩张模拟;临川区

随着人口的增长和社会经济的发展,城市面积逐渐扩大,土地利用结构性矛盾日益突出,其中耕地与建设用地的冲突最为剧烈^[1]。城市无序蔓延、耕地大量被占用,对资源和环境产生了不良影响^[2]。对于城市无序扩张所带来的生态环境破坏、耕地面积锐减等问题,可以通过科学、因地制宜地进行永久基本农田和城市开发边界的划定,实现一定程度的预防和化解^[3]。2013 年中央城镇化工作会议提出“尽快把每个城市,特别是特大城市开发边界划定”的要求之后,城市开发边界问题才受到越来越多的学者重视。在以往的城市开发边界研究中多偏向于城市空间形态的研究^[4-5],也有一些学者从生态环境的角度进行城市开发边界划定,如沈思思等^[6]综合考虑生态敏感性、用地适宜性等因素对城市规模进行预测;蔡庚洋等^[7]选取“生态保护优先”和“建设保障优先”两种城市边界划定模式,经过多次耦合形成最优划定方案;匡晓明等^[8]则通过综合水、地质、游憩与生物多样性 4 个关键性单一因子安全格局,构建综合生态安全格局,以此决定城市增长的空间形态,进行城市开发边界的划定;还有一些学者^[9-10]利用 CA 模型对城市开发边界进行预

收稿日期: 2018-10-31; 修订日期: 2019-01-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31660140)

作者简介: 赵越 (1994-), 男, 河南济源人, 硕士, 研究方向为土地资源与 GIS。E-mail: zhaoyue0421@163.com

通讯作者: 罗志军 (1976-), 男, 江西新余人, 博士, 副教授, 研究方向为土地管理和 3S 应用。

E-mail: luozj10@163.com

测, 但更侧重于对研究方法的探索。

永久基本农田划定是保护耕地资源、缓解城市开发与耕地保护之间矛盾的有效手段, 对环境保护和城乡协调发展有着重要的意义。近年来, 永久基本农田的划定方法不断丰富, 划定过程更加规范化与科学化, 但划定方法仍需不断改进以满足社会发展需要。一些学者围绕着永久基本农田进行了深入探讨, 钱凤魁等^[11]通过建立土地评价与立地分析系统模型, 结合耕地质量进行永久基本农田的划定; 杨建宇等^[12]采用TOPSIS算法对耕地进行分区, 进而划定永久基本农田。相关学者^[13-14]非常重视划定时指标体系的构建, 未能充分考虑耕地的空间分布特点。目前, 对城市开发边界与耕地质量、永久基本农田划定工作相结合的研究还较为缺乏, 本文将城市开发边界与永久基本农田划定工作相结合, 借助ArcGIS、GeoDa等软件进行了耕地综合质量评价、空间自相关分析、建设用地扩张模拟等相关操作, 同时结合城市发展方向、发展模式、耕地国家利用等别进行永久基本农田划定和城市开发边界划定。本文提出一种协调城市用地与农业生产用地之间矛盾的新方法, 是将不同划定工作进行衔接的一次有效尝试, 可为城市合理布局、耕地有效保护提供参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

临川区位于江西省东部、抚州市北部, 地处 $27^{\circ}31' \sim 28^{\circ}14'N$ 、 $116^{\circ}04' \sim 116^{\circ}39'E$ 之间, 是抚州市市辖区, 占地面积约为 2121 km^2 。临川区地势低平, 海拔多处于 $0 \sim 300 \text{ m}$ 之间, 谷底广布, 在南部边缘有山地分布, 城区主要集中于研究区中部, 沿抚河呈东南至西北走向, 具备城市发展的良好条件。区内多年平均气温 17.6°C , 年平均降水日179.5天, 年均降水量 $1600 \sim 1900 \text{ mm}$, 年平均日照 $1582 \sim 1928$ 小时, 属中亚热带潮湿性季风气候, 水热条件充足, 有着良好的农作物耕作条件。临川区包括城西街道等4个街道和孝桥镇等26个乡镇, 中心城区主要包括上顿渡镇、城西街道、文昌街道、钟岭街道、崇岗镇、抚北镇、孝桥镇、展坪乡。高速公路呈“两横一纵”横穿中心城区, 抚州市火车站、东华理工大学、高新技术开发区、产业集聚区等在中心城区内集中分布, 主城区周边有较多的耕地分布(图1)。

1.2 数据来源

本文所需数据主要来源于临川区2014年土地调查变更数据库、2014年耕地质量等别更新成果、永久基本农田划定成果(2017年)、临川区土地利用总体规划(2006-2020年)、抚州市城市总体规划(2013-2030年)等已有规划成果。学校、医院等点状基础设施均来自百度地图。数字高程模型(DEM)数据用以提取研究区地形信息, 空间分辨率为 30 m 。利用ArcGIS 10.2软件对基础数据进行处理, 并利用其空间分析功能进行距离分析等操作。

1.3 研究方法

1.3.1 研究思路

城市发展与耕地保护的矛盾始终是城市发展过程中最核心的问题之一, 本文研究思路具体如下(图2):

(1) 基础数据处理: 农业生产空间中选取土壤理化性质、耕作利用条件、耕作区位条件三个准则层, 17个指标因子作为永久基本农田划定的基础数据; 城镇扩张空间中选

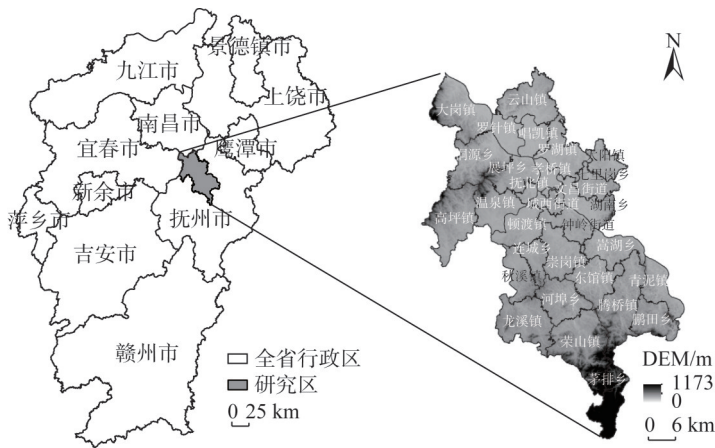


图 1 研究区地理位置和范围

Fig. 1 Geographical location and scope of the study area

取海拔、坡度、地质灾害风险等 12 个适宜性指标与塌陷区、生态红线区、生态安全控制区、禁止建设区 4 个限制性指标作为城市扩张模拟的基础数据。

(2) 面积限制与初步划定：以上级部门对临川区永久基本农田面积下达指标和城市规模预测面积为限，根据耕地综合质量指数和其空间自相关性进行永久基本农田的初步划定，根据多准则判断 CA 模型对城市扩张进行模拟。

(3) 矛盾冲突协调：根据永久基本农田初步划定成果和城市扩张模拟结果，结合城市扩张的方向与城市扩张的模式，对城市扩张模拟结果和永久基本农田划定方案产生冲突的区域进行有针对性、方向性的协调。根据耕地国家利用等别高低对永久基本农田进行调入调出，当耕地国家利用等别低于平均水平时，可进行永久基本农田的调出。

(4) 划定方案的优化与确定：根据矛盾冲突协调过程，生成最终的城市开发边界方案和永久基本农田划定方案。

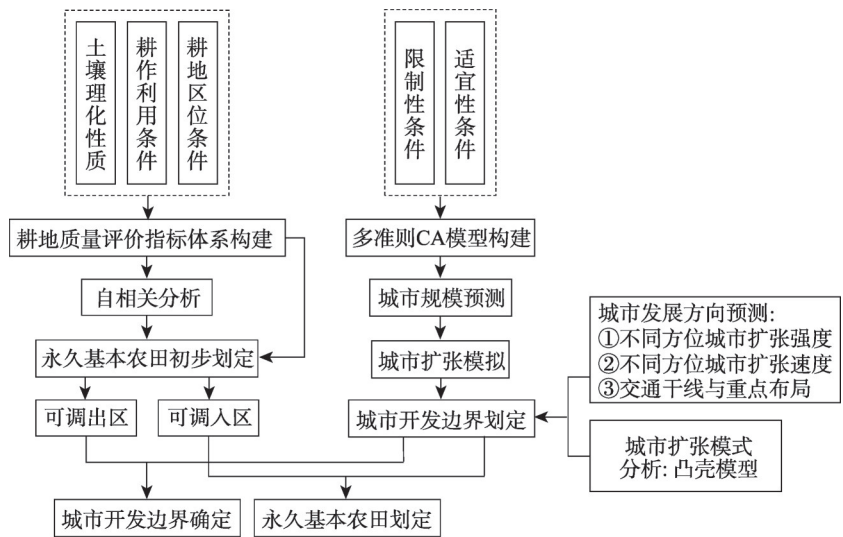


图 2 技术路线图

Fig. 2 Technical road map

1.3.2 耕地综合质量评价指标体系构建

借鉴前人研究成果^[15]，参考《江西省耕地质量监测成果技术报告》等资料，选取有机质质量分数、耕层厚度等共17个指标构建耕地综合质量评价量化标准体系（表1）。

指标因子权重由德尔斐（Delphi）法和层次分析法综合确定，根据各指标优劣程度分别赋值^[16]。田块规整度计算公式如下：

$$FRAC=2\ln(P/4)/\ln S$$
(1)

式中：*S*与*P*分别代表耕地地块的周长与面积；耕作距离、耕地便捷度和中心城镇影响度由近邻分析工具获取（km）；交通通达度则是通过对道路缓冲区分析所得。

耕地连片度用*Q*表示，*Q*越大表示耕地连片度越好，越小则越差。耕地连片度计算公式如下：

$$Q=\begin{cases} 20 & (X\leq 138.4\text{ km}^2) \\ 20+80(X-138.4)/312.5 & (138.4\text{ km}^2<X\leq 965.6\text{ km}^2) \\ 100 & (X>965.6\text{ km}^2) \end{cases}$$
(2)

式中：*X*表示耕地地块面积，阈值是由所有耕地地块面积采用自然断点法获得，评价结果采用间隔赋值方法^[17]对其自然质量进行划分。

耕地综合质量由加权求和法计算所得：

$$F_o=\sum V_{ro}\times W_n$$
(3)

式中：*F_o*表示耕地单元*o*的综合质量；*V_{ro}*表示耕地单元*o*第*r*个指标的标准化值；*W_n*表示第*n*个评价指标权重。

表1 耕地综合质量评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of comprehensive quality of cultivated land

准则层	指标层	指标分级情况					权重
		I	II	III	IV	V	
土壤理化性质	有机质质量分数/%	[4, +∞)	[3, 4)	[2, 3)	[1, 2)	(−∞, 1)	0.0754
	耕层厚度/cm	[32, 40]	[24, 32)	[16, 24)	[8, 16)	[0, 8)	0.0642
	土壤pH	[6.0, 7.9)	[5.5, 6.0), [7.9, 8.5)	[5.0, 5.5), [8.5, 9.0)	[4.5, 5.0)	(−∞, 4.5), [9.0, +∞)	0.0812
	土壤质地	重壤土	中壤土	轻壤土	沙壤土		0.0541
	剖面构型	1级	2级	3级	4级	5级	0.0691
	障碍层深度/cm	[70, 90]	[50, 70)	[30, 50)	[10, 30)	(−∞, 10)	0.0632
耕作利用条件	排水条件	完善	基本完善	一般		不具备	0.0532
	灌溉条件	完善	基本完善	一般		不具备	0.0985
	地形坡度/°	[0, 2)	[2, 6)	[6, 15)	[15, 25)	[25, 45)	0.0661
	耕地连片度	[965.6, +∞)	[581.9, 965.6)	[319.4, 581.9)	[138.4, 319.4)	[0, 138.4)	0.0645
	土壤侵蚀程度	1级	2级	3级	4级	5级	0.0552
	耕地利用方式	水田	水浇地	旱地			0.0598
耕地区位条件	田块规整度	(−∞, 1.02]	(1.02,1.06)	[1.06, 1.1)	[1.10, 1.50)	[1.50, +∞)	0.0442
	耕作距离/km	[0, 0.4)	[0.4, 1.0)	[1.0, 1.8)	[1.8, 2.8)	[2.8, +∞)	0.0412
	耕作便捷度/km	[0, 0.1)	[0.1, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 0.7)	[0.7, +∞)	0.0336
	交通通达度/km	[0, 0.1)	[0.1, 0.3)	[0.3, 0.6)	[0.6, 1.0)	[1.0, +∞)	0.0442
	中心城镇影响度/km	[0, 0.1)	[0.1, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 0.7)	[0.7, +∞)	0.0323

空间自相关是一种监测空间要素聚集特点的算法,可分为全局自相关与局部自相关两类^[18]。根据耕地综合质量评价结果,借助GeoDa软件,计算Moran's I 指数。局部空间自相关分析常用来分析某耕地地块的属性特征与其对邻近单位的影响程度,局域空间关联度指标 ($LISA$) 计算公式为:

$$LISA_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} \times (x_j - \bar{x}), i \neq j \quad (4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

式中: w_{ij} 为空间权重矩阵的元素; x_i 、 x_j 为经过标准化后的耕地地块质量分值; \bar{x} 代表均质; S^2 代表方差。

局部Moran's I 计算结果分别为高一高、高一低、低一高、低一低4种空间聚类属性。采用 Z_i 检验^[19]对耕地地块的空间聚类关系进行显著性检验。

1.3.3 基于CA模型的城市扩张模拟方法

(1) 多准则判断CA模型

CA (元胞自动机) 模型是一种时间与空间都离散的动力学模型,主要具备同质性、局部性、并行性等核心特征,可以通过将城市开发边界划定的专业需求作为约束条件,将限制性条件、适宜性条件、元胞的空间邻域作用等进行综合,转化为相邻单位发生变化的概率,从而将其引入城市开发边界划定工作中^[20]。本研究结合临川区土地利用总体规划 (2006-2020年)、抚州市城市总体规划 (2013-2030年) 等已有数据,从中选取塌陷区、生态红线区、生态安全控制区、禁止建设区^[21]作为城市扩张模拟中的限制性因子,海拔、坡度、土地利用现状、地质灾害风险等12个因子作为适宜性因子^[22],采用最大概率选择策略进行CA模型演变模拟。当前元胞自动机已经广泛运用于区域土地利用变化预测,但在城市发展扩张中的运用仍然较少,其中多数对于元胞自动机的转换规则限制较少,忽视了可能对城市发展产生影响的变量因素。运用CA模型进行模拟时,涉及到许多空间变量,而城市发展的概率与空间变量有着密切关系,将多准则判断引入至CA模型中,可以将诸多空间变量纳入转换规则中,增加计算的准确性与科学性。多准则判断元胞自动机模型,其中的元胞 i 和时刻 t 决定了元胞 j 在 $t+1$ 时刻的状态,元胞在 t 时刻的转换概率可用以下公式表达^[23]:

$$r_i^t = (w_1 v_1 + w_2 v_2 + w_3 v_3 \cdots + w_n v_n) \times CONS \quad (6)$$

$$p_i^t = \exp \left[\alpha \times \left(\frac{r_i^t}{r_{\max}^t} - 1 \right) \right] \quad (7)$$

式中: $CONS$ 为限制性因子,当元胞 i 处于塌陷区、生态红线区、生态安全控制区、禁止建设区时,赋值为0,否则为1。 w_n 为各要素权重; v_n 为空间变量; p_i^t 代表元胞 i 在 t 时刻的转换概率; r_i^t 是元胞 i 的位置属性; r_{\max}^t 为 r_i^t 最大属性值; α 为扩散系数。根据研究区实际情况,采用层次分析法和专家打分法相结合的方法确定各评价因子的权重^[24]。

城市的发展往往会受到随机性因子的影响,为了提高评价准确性,将随机变量引入发展概率的计算,在综合考虑区位、临近发展密度和随机性因素的条件下,将元胞发展概率进行优化,公式如下:

$$\Omega_{ij}^t = \frac{\sum_{3 \times 3} con(S_i = Urban)}{3 \times 3 - 1} \quad (8)$$

$$p_i^t = \exp \left[\alpha \times \left(\frac{r_i^t}{r_{\max}} - 1 \right) \right] \times \Omega_{ij}^t \times \left(1 + (-\ln \gamma)^\beta \right) \quad (9)$$

式中: $\sum_{3 \times 3} \text{con}(Si = \text{Urban})$ 表示 3×3 摩尔邻域中城市像元个数; γ 表示 $0 \sim 1$ 中的随机数; β 表示控制随机变量影响大小的参数。经元胞发展概率计算得出结果, 再将计算结果与随机函数生成的 $0 \sim 1$ 中的随机数 ε 进行对比, 若发展概率大于 ε 则发展为城市用地, 否则保持原有状态。

(2) 城市发展方向

城市发展具有一定的强度、速度和方向性, 本文运用城市空间扩展计算方法进行城市发展方向的确, 该方法对城市的发展空间变化有较好的模拟能力, 可获知城市扩张速度与强度在不同方位的差异。城市用地扩张速度与强度计算公式如下^[25]:

$$M_{ue} = \Delta U_{ij} / (\Delta t_j \times ULA_{ij}) \times 100\% \quad (10)$$

$$I_{ue} = \Delta U_{ij} / (\Delta t_j \times TLA_{ij}) \times 100\% \quad (11)$$

式中: M_{ue} 表示城市用地扩张速度; I_{ue} 表示城市用地扩张强度指数; ΔU_{ij} 表示 j 时段第 i 个研究单元 (某方位或某方格) 建成区扩展数量; Δt_j 表示 j 时段的时间跨度; ULA_{ij} 表示 j 时段初期第 i 个研究单元建成区总面积; TLA_{ij} 表示第 i 个研究单元土地总面积, 借助 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 格网对开发强度与速度进行计算, 再经过自然断点法划分高中低等, 然后采用等扇方位法确定城市在不同方向上发展的空间分异, 先确定研究区域的中心, 以此为圆心, 采用合适的半径画圆 (确保主城区范围均能落在圆内), 按东、西、南、北、东南、西南、东北、西北 8 个方向将圆等分成若干个大小的扇形区域进行分区研究^[26]。

(3) 凸壳模型识别城市扩张模式

凸壳识别是一种运用于宏观区域尺度的扩张识别模式^[27], 主要通过“以点带面、以点带线”的方式对城市建设用地扩张进行识别。本文采用数据转换系统 FME Desktop 2013, 利用 Accumulator 函数对 2005 年城市建设用地进行操作生成点集, 根据新增建设用地斑块位置判断其扩张模式, 当凸壳外部大于凸壳内部时, 可定义为蔓延式扩张; 当凸壳外部小于凸壳内部时, 可定义为填充式扩张; 当新增建设用地斑块完全脱离凸壳范围时, 则定义为飞地式扩张。扩张模型分析结果可为差别化的空间管理结果提供依据^[28]。

2 结果分析

2.1 永久基本农田初步划定与城市扩张模拟结果

2.1.1 永久基本农田初步划定

根据耕地综合质量评价结果 (图 3a), 临川区耕地面积约为 703.59 km^2 , 耕地综合质量评价结果处于 $70.01 \sim 80.00$ 之间的图斑面积为 155.77 km^2 , 占耕地面积的 22.14% ; 处于 $65.01 \sim 70.00$ 之间的图斑面积为 380.12 km^2 , 占耕地面积的 54.03% ; 处于 $60.01 \sim 65.00$ 之间的图斑面积为 145.92 km^2 , 占耕地面积的 20.74% ; 处于 $45.00 \sim 60.00$ 之间的图斑面积为 19.04 km^2 , 占耕地面积的 2.71% 。将耕地综合质量划分为 4 个等级, 耕地综合质量评价分值较高的地块 (I 级、II 级) 主要集中于上顿渡镇、崇岗镇、河埠乡、东馆镇、腾桥镇等区域; 耕地综合质量评价分值较低 (IV 级) 的区域多分布于大岗镇、青泥镇等乡镇。

为了获知其空间聚集特征, 将耕地综合质量空间聚集情况分布借助 ArcGIS 10.2 软件

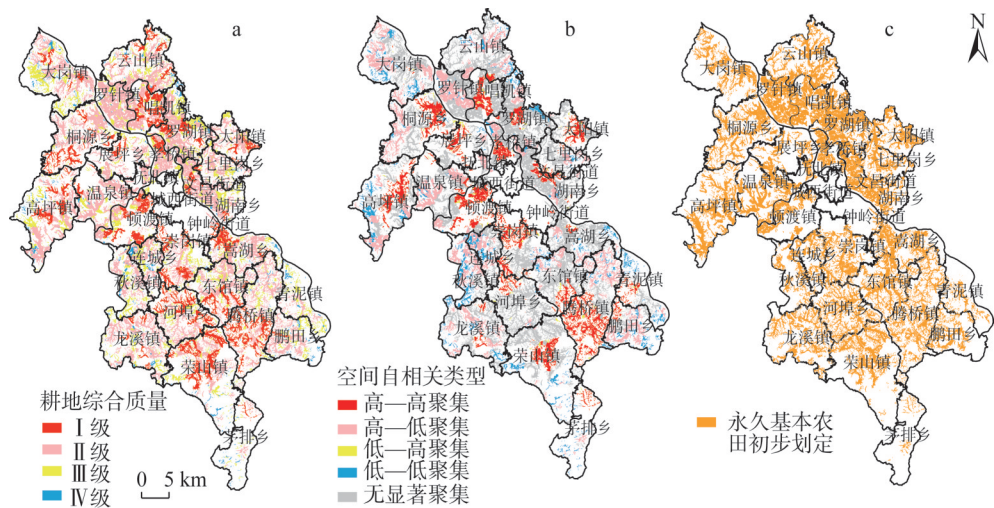


图3 永久基本农田初步划定成果图

Fig. 3 Preliminary delineation of permanent basic farmland

进行展示 (图3b)。临川区耕地综合质量聚类条件较好的耕地多分布于桐源乡、唱凯镇等乡镇, 聚类条件较差的耕地多位于青泥镇、秋溪镇等地。聚集较好的耕地更适宜划为永久基本农田保护区, 聚集较差的耕地则可以进行适当的开发活动, 指引建设开发边界的划定工作。由表2可知, 耕地综合质量为Ⅰ、Ⅱ级的主要聚集类型由高一高、高一低型聚集组成, Ⅰ级高一高型聚集比例较大; Ⅱ级中高—低型聚集比例较大; Ⅲ级主要由高一低与低—低型聚集构成; Ⅳ级主要由低—低型聚集构成。

根据上级土地资源管理部门下达指标, 划入永久基本农田应不少于 593.46 km², 在结合前人研究的基础上^[29-30], 综合考虑临川区实际情况, 采用耕地综合质量与其自相关关系相结合的方法进行永久基本农田划定, 划定面积与下达指标保持一致。划定过程中优先将耕地综合质量为Ⅰ级、Ⅱ级且聚集类型为高一高聚集和高一低聚集的耕地划入永久基本农田, 划定过程遵循相关规程, 保证划定的数量与质量, 兼顾耕地综合质量的聚类关系, 形成永久基本农田初步划定成果 (图3c)。

2.1.2 城市扩张模拟

以2005年、2010年为基期, 采用多准则判断CA模型, 对2015年城市发展形态进行模拟, 将土地利用方式转变为城市用地的区域赋值为1, 否则为0, 模拟结果与2015年实际城市用地具有较高的一致性, 采用图像一致性对比中常用的点对点方式得到混淆矩阵, 经模拟精度检验, 总体精度为81.2%, 表明该模型较好地模拟了临川区城市扩张的

表2 耕地综合质量集聚类型统计表

Table 2 Cluster statistical table of comprehensive quality set of cultivated land

级别	高一高型		高一低型		低—高型		低—低型		无显著型		合计
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	
Ⅰ级	62.84	8.93	12.69	1.80	0	0	0	0	80.24	11.40	155.77
Ⅱ级	64.34	9.14	124.27	17.66	0	0	0.02	0	192.03	27.29	380.66
Ⅲ级	7.67	1.09	23.13	3.29	7.53	1.07	45.50	6.47	64.30	9.14	148.13
Ⅳ级	0	0	0	0	0.22	0.03	14.63	2.08	4.19	0.60	19.04
合计	134.86	19.17	160.08	22.75	7.75	1.10	60.15	8.55	340.76	48.43	703.59

特点,适用于未来城市扩张形态的预测。依据抚州市城市总体规划(2013-2030年)并综合考虑临川区社会经济发展条件,结合2005-2015年新增建设用地规律对城市规模进行预测,至2030年城市建设用地总量约为113.44 km²,新增城市建设用地面积约为27.10 km²。在多准则判断CA模型模拟过程中将模拟城市建设用地面积控制在113.44 km²范围内,经修正后得到2030年城市建设用地范围(图4),结果显示2030年临川区城市建设用地主要在展坪乡、上顿渡镇以及钟岭街道有较显著的扩张。

2.2 城市扩张方向与模式分析

城市边界扩展的方向性受到多方面因素共同影响。交通干线、河流水系、人类开发活动、区域建设用地扩张历史规律等诸多因素均会对城市的发展方向产生重要影响。本文从交通干线与重点布局、不同方位城市扩张强度、速度分布,对城市发展方向进行综合探究。如图5所示:临川区高速公路呈“两横一纵”穿越研究区,其中“一纵”呈东南至西北走向贯穿中心城区,重点建设区域多分布于高速公路沿线,国道主要经过中心城区东部,国道沿线也有小范围的重点建设区域。在不同方位的城市扩张速度方面,高速度区主要集中于西南方向,东南方向主要为中速度区。低速度区主要分布于正北和正西。结合抚州市临川区土地利用总体规划与抚州市城市规划可知,临川区城市开发边界的划定要体现“城市分布东跨、产业适度南拓、文教西连、北控”的特点。本文在城市开发边界的划定中,在结合临川区实际情况、城市扩展方向分析、尊重城市发展规律和相关规划的基础上,主要向西北、东南、西南方向发展。以2005年城镇用地为基期构建凸壳模型壳体,通过将2015年城镇用地与壳体进行

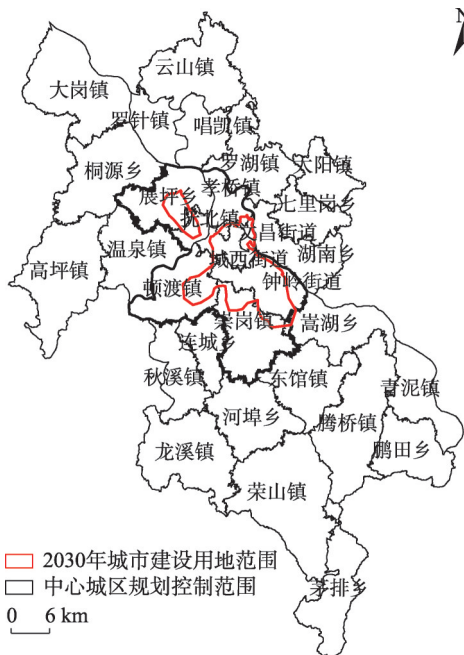


图4 2030年临川区城市建设用地范围

Fig. 4 Urban construction land scope in Linchuan district in 2030

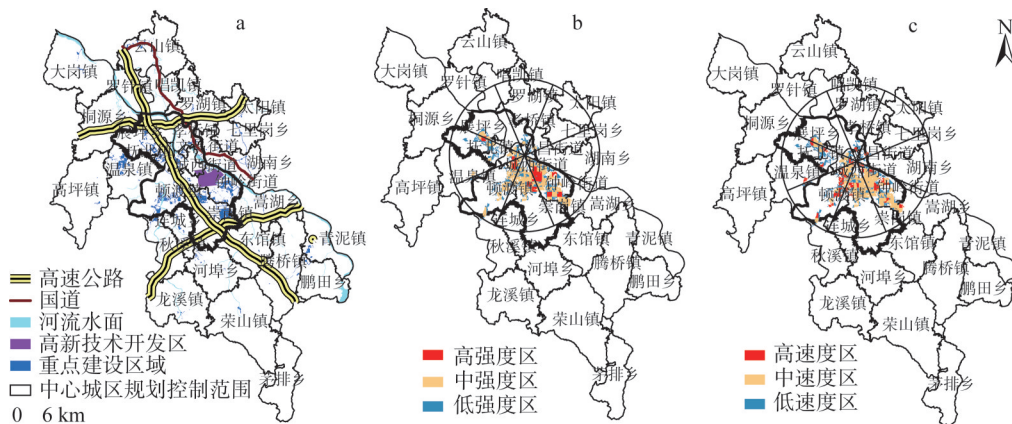


图5 城市扩张方向分析

Fig. 5 Analysis of urban expansion direction

对比分析可知临川区城镇用地面积迅速增加,主要建设用地扩张类型为蔓延式扩张。

2.3 城镇发展与农业生产协调优化布局

2.3.1 永久基本农田调入调出分析

根据永久基本农田初步划定方案和城市用地扩张模拟结果,可知两者之间存在一定的冲突区域,冲突区主要分布于临川区中心城区规划控制范围内,故以中心城区为研究对象,缩小研究范围,以研究两者之间的协调关系,进行永久基本农田的调入调出。根据孔祥斌等^[31]的研究成果,可将耕地国家利用等别作为永久基本农田调入调出的标准,当耕地国家利用等别高于其平均水平时,原有永久基本农田保留,当耕地国家利用等别低于其平均水平时,可根据城市发展需要进行调出,调出后永久基本农田应进行相应面积的调入补充,调入基本农田综合质量、国家利用等别均应高于调出部分,以保证永久基本农田质量。结果如图6所示:可调出区主要分布于中心城区北侧和南侧,可调入区主要分布于孝桥镇和上顿渡镇。经冲突分析结果可知,永久基本农田初步划定方案与城市用地扩张模拟结果存在着4.21 km²集中冲突区,主要分布于中心城区西部与南部,将集中冲突区永久基本农田剔除后,于研究区西南部、东北部补充4.21 km²耕地为永久基本农田,补充部分保持与剔除部分的面积相当,质量接近,保证永久基本农田划定的质量与数量。

2.3.2 永久基本农田与城市开发边界划定

城市开发边界划定是一个多方面协调的过程,在划定过程中既要符合资源环境的要求,也要符合城市发展规律,然后根据城市发展形态模拟与城市发展方向、耕地质量来共同对开发边界进行划定,在已建成范围西北、正西、正南、东南方向预留出一定的发展空间,以支持高新技术产业开发区重点向南拓展,支持适当的城市东跨,支持西部文化教育职能的增强,支持临川北部片区物流和特色产业基地建设,同时实现北部湿地公园的环境保护。结合前文中对城市规模进行预测的结果,预测至2030年城市开发边界范围面积应为142.59 km²。经过城市扩张模拟与永久基本农田初步成果的协调与优化,确定永久基本农田最终划定方案,形成符合临川区发展需要的城市开发边界(图7)。将传

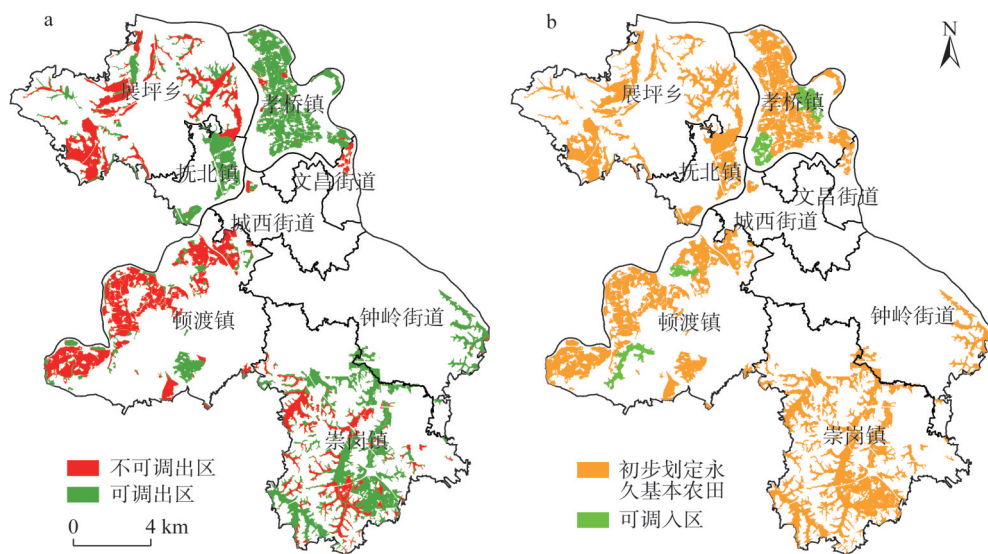


图6 中心城区永久基本农田调整分析

Fig. 6 Analysis of permanent basic farmland adjustment in central urban area

统划定方式（2017年已划定成果）与本文所采纳的新方式划定的永久基本农田进行对比分析可知（表3），传统划定方式下的综合质量得分均值低于新划定方式下的耕地质量，图斑个数多于新划定方式，表明基于耕地质量与空间聚集性的永久基本农田划定整体上提升了永久基本农田的划定效果。

3 结论与讨论

本文以抚州市临川区为例，分别从耕地综合质量及其聚类关系和城市扩张模拟两方面对临川区的永久基本农田、城市开发边界进行划定，并在划定过程中综合城市发展方向、城市扩张模式、耕地国家利用等别等因素协调永久基本农田与城市开发边界关系，以实现划定结果的最优化，主要结论为：

（1）耕地综合质量及自相关分析结果显示，耕地综合质量评价高值区与高一高聚类区的地块多分布于上顿渡镇、崇岗镇、河埠乡、东馆镇、腾桥镇等区域；分值较低的区域与低—低聚类区多分布于大岗镇、青泥镇等区域。结合耕地综合质量与聚类关系分析结果进行永久基本农田划定，保证初步划定成果满足国土部门对永久基本农田质量、数量的要求。

（2）根据多准则判断CA模型对城市扩张进行模拟，模拟结果显示至2030年，临川区城市建设用地面积有较为显著的增加，主要增加面积分布于展坪乡、上顿渡镇以及钟岭街道等。

（3）根据城市扩张与模式分析结果显示，临川区城市主要向西北、东南、西南方向扩张，扩张方式主要为蔓延式。根据耕地国家利用等别高低对初步划定永久基本农田进行调入调出，对城镇发展空间与农业生产空间冲突区域进行协调优化，确定城市开发边界与永久基本农田最终划定成果。划定过程中的协调原则为：优先保障耕地的数量与质

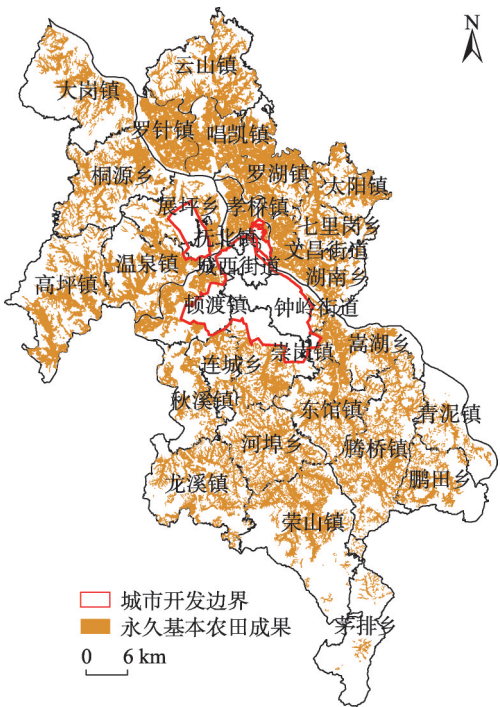


图7 永久基本农田与城市开发边界划定方案
Fig. 7 Scheme for delineating the boundary between permanent basic farmland and urban development

表3 临川区永久基本农田划定对比表

Table 3 Comparison of permanent basic farmland in Linchuan district

类别	传统划分方式				新划分方式			
	面积/km ²	比例/%	综合质量得分均值	图斑数/个	面积/km ²	比例/%	综合质量得分均值	图斑数/个
高一高聚集	100.31	16.90	67.87	1306	125.46	21.14	67.45	1578
高一低聚集	137.13	23.11	66.56	706	144.61	24.37	66.64	334
低—高聚集	5.28	0.89	62.36	296	0.20	0.03	62.74	8
低—低聚集	48.71	8.21	60.23	1450	6.28	1.06	59.72	29
无显著聚集	302.03	50.89	64.63	3536	316.92	53.40	65.21	2471
合计	593.46	100.00	64.42	7294	593.46	100.00	66.07	4420

量,在城市开发边界与永久基本农田发生冲突的区域,根据永久基本农田可调性与城市发展需要进行调整,保障城市发展。

本文针对当前土地资源日益紧缺、城市无序扩张等问题,提出了一种对城镇发展空间与农业生产空间进行协调优化的方法,但永久基本农田划定、土地利用总体规划调整完善、城市开发边界的划定等工作往往不能同期进行,各类规划过程中不可避免地面临规划不同步、协调困难大、已定成果难更改的问题,仍然会对城市有序发展、耕地保护带来一定的阻碍。而近年来随着“昌抚一体化”步伐的加快,为临川区城市发展提供了新的契机,也可能对临川区的城市布局产生影响,需要在今后的研究中进行深入探讨。

参考文献(References):

- [1] 闫梅, 黄金川, 彭实斌. 中部地区建设用地扩张对耕地及粮食生产的影响. 经济地理, 2011, 31(7): 1157-1164. [YAN M, HUANG J C, PENG S C, et al. The influence of construction land expansion to cultivated land and grain production in Central China. Economic Geography, 2011, 31(7): 1157-1164.]
- [2] 肖琳, 田光进, 乔治. 基于 Agent 的城市扩张占用耕地动态模型及模拟. 自然资源学报, 2014, 29(3): 516-527. [XIAO L, TIAN G J, QIAO Z. An Agent-based approach for urban encroachment on cropland dynamic model and simulation. Journal of Natural Resources, 2014, 29(3): 516-527.]
- [3] 陈景芹, 陈雯, 孙伟, 等. 基于适宜性分区的规划用地协调性与合理性评估: 以无锡市区为例. 长江流域资源与环境, 2011, 20(7): 866-872. [CHEN J Q, CHEN W, SUN W, et al. Rational and coordination evaluation of land use in planning based on regionalization of regional potential developed: A case study of Wuxi city. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(7): 866-872.]
- [4] 许景权. 空间规划改革视角下的城市开发边界研究: 弹性、规模与机制. 规划师, 2016, 32(6): 5-9. [XU J Q. A study on the boundary of urban development from the perspective of spatial planning reform: Elasticity, scale, and mechanism. Planner, 2016, 32(6): 5-9.]
- [5] LIAO J, TANG L, SHAO G, et al. A neighbor decay cellular automata approach for simulating urban expansion based on particle swarm intelligence. International Journal of Geographical Information Science, 2014, 28(4): 720-738.
- [6] 沈思思, 陈健, 耿楠森, 等. 快速城镇化地区的城市开发边界划定方法探索: 以榆林市为例. 城市发展研究, 2015, 22(6): 103-111. [SHEN S S, CHEN J, GENG N S, et al. Exploring the defining method of urban growth boundary in rapid urbanization area: Taking Yulin city as example. Urban Development Studies, 2015, 22(6): 103-111.]
- [7] 蔡庚洋, 李锐, 郑荣泉. 博弈机理下的城市开发边界划定耦合优化研究. 城市规划, 2017, 41(3): 19-24. [CAI G Y, LI X, ZHENG R Q, et al. Study on coupling optimization for establishing urban growth boundary under game theory. City Planning Review, 2017, 41(3): 19-24.]
- [8] 匡晓明, 魏本胜, 王路. 规模与生态增长并举的城市开发边界划定: 以东湖国家自主创新示范区为例. 规划师, 2016, 32(6): 10-15. [KUANG X M, WEI B S, WANG L. Urban development boundary delimitation for both scale and ecology growth: East Lake innovation model district case. Planner, 2016, 32(6): 10-15.]
- [9] 冯微微, 刘慧平. 基于误差反馈控制的变系数城市扩张模型构建及应用. 地理科学, 2014, 34(5): 594-600. [FENG H H, LIU H P. The variable-coefficient urban growth model based on the Error Feedback Control. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(5): 594-600.]
- [10] SAKIEH Y, AMIRI B J, DANEKAR A, et al. Simulating urban expansion and scenario prediction using a cellular automata urban growth model, SLEUTH, through a case study of Karaj city, Iran. Journal of Housing & the Built Environment, 2015, 30(4): 591-611.
- [11] 钱凤魁, 王秋兵, 边振兴, 等. 永久基本农田划定和保护理论探讨. 中国农业资源与区划, 2013, 34(3): 22-27. [QIAN F K, WANG Q B, BIAN Z X, et al. Discussion about the permanent basic farmland planning and protection. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2013, 34(3): 22-27.]
- [12] 杨建宇, 徐凡, 刘光成, 等. 基于 TOPSIS 算法的永久基本农田划定方法. 农业机械学报, 2017, 48(8): 133-139. [YANG J Y, XU F, LIU G C, et al. Demarcation method of permanent prime cultivated land based on TOPSIS. Transactions of the CSAM, 2017, 48(8): 133-139.]
- [13] 钟珊, 赵小敏, 郭熙, 等. 贵溪市城市周边永久基本农田划定研究. 江西农业大学学报, 2017, 39(2): 419-426. [ZHONG S, ZHAO X M, GUO X, et al. Assignment of permanent prime farmland around Guixi city. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2017, 39(2): 419-426.]

- [14] 邹静源. 永久性基本农田的划定与保护研究. 雅安: 四川农业大学, 2016. [ZOU J Y. Delineation and protection of permanent basic farmland. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2016.]
- [15] 任艳敏, 孙九林, 刘玉, 等. 县域永久基本农田划定方法研究. 农业机械学报, 2017, 48(4): 135-141. [REN Y M, SUN J L, LIU Y, et al. Delineation method of permanent basic farmland on a county scale. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 135-141.]
- [16] 朱美青, 黄宏胜, 史文娇, 等. 基于多规合一的基本农田划定研究: 以江西省余江县为例. 自然资源学报, 2016, 31(12): 2111-2121. [ZHU M Q, HUANG H S, SHI W J, et al. The research of prime farmland demarcation based on multi-planning-in-one: A case study of Yujiang county, Jiangxi province. Journal of Natural Resources, 2016, 31(12): 2111-2121.]
- [17] 汤思阳, 雷国平, 张慧, 等. 基于耕地质量评价的基本农田划定方法. 水土保持研究, 2013, 20(1): 173-176. [TANG S Y, LEI G P, ZHANG H, et al. Method of basic farmland demarcation based on the quality of cultivated land evaluation. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(1): 173-176.]
- [18] 韦仕川, 熊昌盛, 栾乔林, 等. 基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区. 农业工程学报, 2014, 30(18): 249-256. [WEI S C, XIONG C S, LUAN Q L, et al. Protection zoning of arable land quality index based on local spatial autocorrelation. Transaction of the CSAE, 2014, 30(18): 249-256.]
- [19] 常变蓉, 李仁东, 徐兴建, 等. 基于GIS空间自相关的江汉平原钉螺分布特征. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 972-978. [CHANG B R, LI R D, XU X J, et al. Analysis of oncomelania hupensis's distribution characteristics in Jiangnan Plain based on GIS spatial autocorrelation. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(7): 972-978.]
- [20] 马世发, 艾彬, 念沛豪. 基于约束性CA的土地利用规划预评估及警情探测. 地理与地理信息科学, 2014, 30(4): 51-55, 2. [MA S F, AI B, NIAN P H. Pre-assessment and warning of land use planning with constrained cellular automata. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(4): 51-55, 2.]
- [21] 龙瀛, 韩昊英, 毛其智. 利用约束性CA制定城市增长边界. 地理学报, 2009, 64(8): 999-1008. [LONG Y, HAN H Y, MAO Q Z. Establishing urban growth boundaries using constrained CA. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(8): 999-1008.]
- [22] 周锐, 王新军, 苏海龙, 等. 基于生态安全格局的城市增长边界划定: 以平顶山新区为例. 城市规划学刊, 2014, (4): 57-63. [ZHOU R, WANG X J, SU H L, et al. Delimitation of urban growth boundary based on ecological security pattern. Urban Planning Forum, 2014, (4): 57-63.]
- [23] 刘小平, 黎夏, 彭晓鹃. “生态位”元胞自动机在土地可持续规划模型中的应用. 生态学报, 2007, 27(6): 2391-2402. [LIU X P, LI X, PENG X J. Niche-based cellular automata for sustainable land use planning. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6): 2391-2402.]
- [24] 周丹. 基于地理加权与元胞自动机的城市空间模拟. 大连: 大连理工大学, 2010. [ZHOU D. Simulation of urban spatial based on geographic weighted regression and cellular automata. Dalian: Dalian University of technology, 2010.]
- [25] 王雪微, 王士君, 宋颀, 等. 长春市城市建设用地演进的空间识别及影响机制研究. 地理科学, 2015, 35(7): 873-881. [WANG X W, WANG S J, SONG Y, et al. Space recognition and influence mechanism of urban construction land evolution in Changchun city. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(7): 873-881.]
- [26] 杨立国, 周国华. 怀化城市形态演变特征及影响因素. 地理科学进展, 2010, 29(5): 627-632. [YANG L G, ZHOU G H. Evolution characteristics of the urban morphology and its forming mechanism in Huaihua. Progress in Geography, 2010, 29(5): 627-632.]
- [27] 陆张维, 徐丽华, 吴次芳, 等. 基于凸壳原理的杭州城市扩展形态演化分析. 地理科学, 2015, 35(12): 1533-1541. [LU Z W, XU L H, WU C F, et al. The evolution of urban expansion morphology in Hangzhou based on principle of Convex Hull. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(12): 1533-1541.]
- [28] 叶英聪, 孙凯, 匡丽花, 等. 基于空间决策的城镇空间与农业生产空间协调布局优化. 农业工程学报, 2017, 33(16): 256-266. [YE Y C, SUN K, KUANG L H, et al. Spatial layout optimization of urban space and agricultural space based on spatial decision-making. Transaction of the CSAE, 2017, 33(16): 256-266.]
- [29] 杨建宇, 杜贞容, 杜振博, 等. 基于耕地质量评价和局部空间自相关的高标准农田划定. 农业机械学报, 2017, 48(6): 109-115. [YANG J Y, DU Z R, DU Z B, et al. Well-facilitied capital farmland assignment based on land quality evaluation and LISA. Transactions of the CSAM, 2017, 48(6): 109-115.]
- [30] 熊昌盛, 谭荣, 岳文泽. 基于局部空间自相关的高标准基本农田建设分区. 农业工程学报, 2015, 31(22): 276-284. [XIONG C S, TAN R, YUE W Z. Zoning of high standard farmland construction based on local indicators of spatial association. Transaction of the CSAE, 2015, 31(22): 276-284.]
- [31] 孔祥斌, 靳京, 刘怡, 等. 基于农用地利用等别的基本农田保护区划定. 农业工程学报, 2008, 24(10): 46-51, 2. [KONG X B, JIN J, LIU Y, et al. Planning method of the prime farmland protection zone based on farmland utilization grade. Transaction of the CSAE, 2008, 24(10): 46-51, 2.]

Layout optimization of regional urban development and agricultural production based on spatial decision-making: A case study of Linchuan district in Jiangxi province

ZHAO Yue, LUO Zhi-jun, CAO Li-ping, ZHONG Shan, ZHAO Jie

(Jiangxi Agricultural University Key Laboratory of Poyang Lake Watershed Agricultural Resources and Ecology
of Jiangxi Province/Academy of Land Resources and Environment, Nanchang 330045, China)

Abstract: Scientific division of urban development space and agricultural production space is an important way to solve the problems of unregulated urban development and food security. Taking Linchuan district in Jiangxi province as an example, this paper uses ArcGIS, GeoDa software and others to establish a preliminary demarcation of the permanent basic farmland based on the comprehensive quality and autocorrelation of cultivated land in Linchuan district, and uses a multi-criterion CA model to simulate urban expansion. Through the comparison and adjustment of the results of the two aspects, combined with the direction of urban development, urban development model and the farmland natural utility grade, the demarcation of the boundary between the permanent basic farmland and the urban development will be carried out. The results showed that the demarcated area of permanent basic farmland was 593.46 km². The preliminary delimitation results were mainly distributed in Shangdundu town, Chonggang town, Hejian town, Rongshan town, etc. The comprehensive quality of cultivated land was high, and most of it was high-high gathered area. According to the results of urban expansion simulations, the area of urban construction land in Linchuan district has increased significantly, and the area mainly increased in Zhanping township, Shangdundu town, and Zhongling street. The results of urban development direction analysis and urban expansion model analysis show that the urban construction land in Linchuan district mainly expands to the northwest, southeast, and southwest, and the expansion type is mainly a spreading one. According to the farmland natural utility grade, the initially demarcated permanent basic farmland is divided into an adjustable-in area and an adjustable-out area, so that the optimization and coordination of the permanent basic farmland area and the urban development boundary are carried out, and the final results are obtained between the permanent basic farmland area and the urban development boundary. It is predicted that the boundary area of urban development will reach 142.59 km² by 2030, with a difference of 4.21 km² out of a total of preliminary delineation of permanent basic farmland area. The research results can provide reference for the protection of cultivated land resources and avoid the disorderly expansion of cities, and can also provide reference for the future delineation work.

Keywords: cultivated land; urban development boundary; autocorrelation; urban expansion simulation; Linchuan district