

引用格式:徐海斌,肖长江,刘雅雯,等.基于PLUS模型的徐州市土地利用布局弹性空间模拟[J].资源科学,2024,46(1):175-186. [Xu H B, Xiao C J, Liu Y W, et al. Simulation of flexible space of land use layout in Xuzhou City based on the PLUS model[J]. Resources Science, 2024, 46(1): 175-186.] DOI: 10.18402/resci.2024.01.13

# 基于PLUS模型的徐州市土地利用布局弹性空间模拟

徐海斌<sup>1</sup>,肖长江<sup>2</sup>,刘雅雯<sup>1</sup>,邓诗琪<sup>1</sup>,李鑫<sup>1,3</sup>

(1. 中国矿业大学公共管理学院,徐州 221116;2. 江西财经大学财税与公共管理学院,南昌 330013;3. 中国矿业大学中国资源型城市转型发展与乡村振兴研究中心,徐州 221116)

**摘要:**【目的】规划弹性空间作为国土空间管制的创新性方式,对提高空间规划科学性与有效性、减轻不确定因素的扰动冲击有重要意义,本文旨在探究不确定条件下的土地利用布局弹性空间划定。【方法】本文以徐州市为例,先运用区间优化模型求取各类用地数量弹性区间,然后以区间上、下限对应的面积作为数量需求导入PLUS模型分别模拟各类用地的空间布局,将各地类两次模拟布局差异部分划为弹性空间。【结果】结果表明:①各用地数量弹性区间大小存在差异,其中对未来不确定性承纳贡献较大的土地类型为农村居民点、耕地、水域、城镇工矿用地,而较小的是草地、未利用地。②各类用地弹性空间分布有一定规律性,其中耕地弹性空间集中于城镇、农村周边土地利用变化热点区,园地、林地弹性空间集中于河流沿岸、低山丘陵等适宜生长区,城镇工矿、农村居民点用地弹性空间主要分布在城乡原用地外缘。③基于各土地利用类型弹性空间,按规划分区归并土地类型,同时按适宜度标准处理弹性空间冲突部分,得到不同空间规划分区的弹性空间,其中农业生产区、生态保护区、城镇建设区与乡村发展区的弹性空间面积占总面积比例分别为1.74%、0.20%、1.09%与3.31%。【结论】土地利用空间可能冲突的概率分布是弹性空间划定前提,应从不确定性视角划定土地利用布局的弹性空间,本文提出的基于区间优化与PLUS模型的弹性空间划定方法具有可行性,可为规划决策提供支持。

**关键词:**土地利用布局;PLUS模型;不确定性;弹性空间;徐州市

DOI: 10.18402/resci.2024.01.13

## 1 引言

当前中国正处于社会经济发展转型的关键期,一方面经济快速增长使资源环境压力加剧,地质灾害、极端气候与重大疫情等突发事件概率增加,另一方面发展动力转换、治理模式重构等使人口流动与区域差异向多维可能性方向发展<sup>[1-3]</sup>。复杂多变的外部环境以及人口数量、经济增长、自然环境等一系列不确定性因素的存在<sup>[4]</sup>,使得国土开发利用和经济社会可持续发展受不确定性困扰。以往的规划实践表明刚性规划难以应对这些不确定性的扰动冲击<sup>[5-7]</sup>,因此如何增强国土空间规划的弹性,

提高不确定性管理水平,防范规划失效,是当前国土空间规划研究面临的重要课题<sup>[8]</sup>。为适应社会经济、资源环境与城市发展的动态变化,在刚性管控基础上国土空间规划应具有一定弹性,从而为国土开发利用与保护决策提供多种可行的替代方案<sup>[9,10]</sup>。

空间规划中的弹性主要体现在数量结构和空间布局弹性两个方面<sup>[11,12]</sup>。借鉴资源环境领域不确定优化研究,国内外学者首先对不确定条件下的土地数量结构优化展开研究,在目标函数或约束条件中引入区间、模糊或随机等不确定性变量表征社会经济发展、人口增长、自然环境变化等不确定因素<sup>[13]</sup>。

收稿日期:2023-06-19 修订日期:2023-11-14

基金项目:国家自然科学基金项目(42171248;42371273)。

作者简介:徐海斌,男,安徽巢湖人,硕士研究生,研究方向为土地利用模拟与优化。E-mail: seaice211@163.com

通讯作者:李鑫,男,山东临沂人,教授,博士生导师,研究方向为区域土地利用与乡村地理。E-mail: topzcg@126.com

基于不确定性优化理论构建区间优化模型<sup>[14]</sup>、机会约束模型<sup>[15]</sup>、模糊规划模型<sup>[16]</sup>以及其他混合不确定性优化模型<sup>[17]</sup>等求取了不确定的土地数量结构或弹性区间。然而土地结构优化不是终点,其最终需要落实到空间布局上以作为落实国土空间用途管制的重要依据<sup>[18]</sup>,所以应将数量结构或弹性区间落实到具体的空间上进一步形成各类用地的弹性空间<sup>[4]</sup>。土地利用弹性空间是土地数量弹性区间在空间上的体现,泛指一种可重新配置的、非永久性的土地利用形式,旨在通过土地预留、混合利用和空间置换等方式增强规划空间布局的相对灵活性与可持续性,以应对城市未来发展面临的难以预测土地需求与用地位置变化等不确定性因素的影响<sup>[4,8]</sup>。不同学者对弹性空间的划定方法展开了初步探讨和应用,主要包括主观决策法<sup>[19]</sup>、适宜度评价法<sup>[20,21]</sup>、模型模拟法<sup>[22-24]</sup>。主观决策法以经验判断与主观意愿划定弹性用地范围,由于缺乏依据,可能出现空间错配风险。适宜度评价法考虑到空间单元的适宜度,将最适宜向各类用地转化的部分空间作为弹性空间。模型模拟法根据未来土地利用需求,通过空间变化模拟模型分别对用地数量上下限时的布局进行模拟,将两次土地利用空间布局的差异部分划分为弹性空间,其与空间适宜度评价法相比,进一步将邻域效应及现状改变成本等因素纳入考虑,更具有现势性与可操作性<sup>[25]</sup>。弹性空间作为一种创新性的国土空间管制方式,目前其科学划定尚处于探索阶段<sup>[26]</sup>,缺乏关于弹性空间模拟划定在现实中的应用,难以为空间规划实践提供方法支持。

鉴于此,探索土地利用布局弹性空间划定有重要的理论意义和现实需求。徐州市作为典型的资源型城市,当前正处于社会经济发展转型期,未来社会经济发展面临的不确定性对其土地资源可持续利用带来的挑战日益凸显。因此,模拟划定土地利用布局弹性空间,探索弹性化的国土空间管控方式,对于徐州市国土空间可持续治理与城市转型发展具有积极作用。故本文以徐州市为例,综合运用区间优化模型与PLUS模型,在求取各类用地弹性区间数量基础上,模拟各类用地未来空间布局,经叠加分析获得各类用地的弹性空间,以期展示综合模型对于土地利用布局弹性空间的模拟能力,促进国土空间规划从刚性管控走向更加灵活的弹性治理,

为不确定环境下弹性国土空间划定提供方法借鉴。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

徐州市位于江苏省西北部,地处苏、鲁、豫、皖四省交界(图1),土地总面积约11765 km<sup>2</sup>,属暖温带大陆性季风气候,年均温14℃左右,年均降水量800~930 mm,全年气候分明,光照充足,雨量适中,地形以平原为主,地势由西北向东南降低。截至2020年底,全市常住人口908.39万人,城镇化率达65.63%,国内生产总值为7319.77亿元,人均生产总值为80580元,下辖5个市辖区(泉山区、铜山区、云龙区、鼓楼区、贾汪区)、3个县(丰县、沛县、睢宁县)、代管2个县级市(邳州市、新沂市)。作为典型老工业基地和资源型城市,当前徐州正处于工业化与城镇化的加速期,经历产业、城市、生态、社会的多重转型过程<sup>[27]</sup>,社会经济发展面临的不确定性对其未来的土地利用提出了更高的要求,迫切需要弹性化的空间管控方式以适应经济社会发展与城市建设的未来变化形势,为国土空间可持续治理与城市转型发展提供支撑。

### 2.2 数据来源

土地利用、人口、GDP空间分布、年均气温、年降水量等数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn>),其中土地利用数据重分类为耕地、园地、林地、草地、水域、城镇工矿用地、农村居民点用地、未利用地;高程数据来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>),并基于该数据提取得到坡度数据;土壤数据来源于世界土壤信息基金会的数字土壤制图系统(<https://www.soilgrids.org/>);各级道路数据来源于OpenStreetMap网站(<https://www.openstreetmap.org>);河流、湖泊数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn/>);社会经济统计数据来自2014—2020年《徐州统计年鉴》《徐州市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》等相关资料;涉及距离的数据用ArcGIS软件的欧式距离工具通过可达性分析得到。以上数据统一至WGS\_1984坐标系,经重采样至50 m分辨率,全域栅格数为2815行×4295列。

## 3 研究方法

本文综合运用区间优化模型和PLUS模型,模

2024年1月

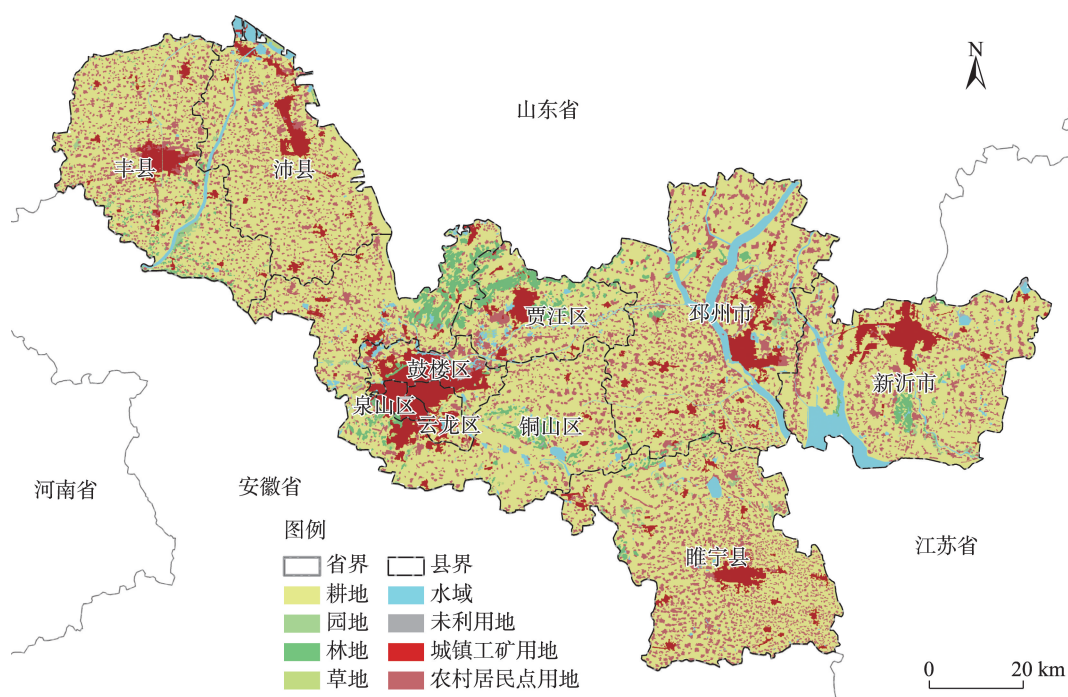


图1 徐州市区位及2020年土地利用现状

Figure 1 Location and land use of Xuzhou City, 2020

拟划定不确定条件下的徐州市土地利用布局弹性空间。首先通过构建目标函数与约束条件,运用区间优化模型求取得到未来各类用地数量需求的弹性区间。然后基于PLUS模型分别模拟各类用地数量弹性区间上下限对应的土地利用空间布局,将两次模拟的空间布局差异部分划定为其弹性空间。最后在各土地利用类型弹性空间基础上,按规划分区归并土地类型,同时按适宜度标准处理弹性空间冲突部分,最终得到不同空间规划分区的弹性空间。

### 3.1 区间优化模型

区间优化模型是处理模型目标函数、约束条件中存在不确定性变量或参数的一类优化模型,在不同变量或参数的概率分布未知情况下,仅知其区间变化范围便可进行不确定性资源优化配置<sup>[28,29]</sup>。以2030年作为规划目标年,考虑到土地利用结构优化的多重目标权衡,本文根据区间线性规划标准模型构建多目标区间优化模型<sup>[30]</sup>:

$$\max F_1(x) = \sum_{j=1}^n [c_j^L, c_j^U] x_j \quad (1)$$

$$\max F_2(x) = \sum_{j=1}^n e_j x_j \quad (2)$$

$$\begin{cases} \text{s.t.} \\ \sum_{j=1}^n [a_{ij}^L, a_{ij}^U] x_j \geq [b_i^L, b_i^U], i=1, \dots, l \\ \sum_{j=1}^n [a_{ij}^L, a_{ij}^U] x_j = [b_i^L, b_i^U], i=l+1, \dots, m \\ x_j \geq 0, j=1, \dots, n \end{cases} \quad (3)$$

式中: $F_1(x)$ 、 $F_2(x)$ 分别表示经济效益与生态效益目标; $j$ 表示土地利用类型; $U$ 、 $L$ 分别表示区间的上下限; $[c_j^L, c_j^U]$ 表示各土地利用类型单位面积经济效益系数区间,其根据2014—2018年研究区各地类对应的单位面积经济增加值与其面积比值,通过灰色预测、指数平滑与线性回归等方法预测得到; $x_j$ 表示第 $j$ 类用地的数量面积; $e_j$ 表示各土地利用类型单位面积生态价值系数,其根据陆地生态系统服务价值当量因子<sup>[31]</sup>,结合研究区2016—2020年平均粮食单产、粮食单价,以一个自然生态系统的经济价值量等于平均粮食单产市场价值的1/7计算修正得到<sup>[32]</sup>; $i$ 表示约束式类型, $l$ 、 $m$ 分别表示不等式约束个数与等式约束个数; $[a_{ij}^L, a_{ij}^U]$ 、 $[b_i^L, b_i^U]$ 分别表示约束条件中决策变量系数与常数区间。为满足未来粮食安全、经济社会发展、国土开发利用与保护等多种诉求,参考研究区的国土空间规划、十四五规划和



2035年远景目标构建各类用地面积约束条件(表1)。

### 3.2 PLUS模型

PLUS模型是一个基于栅格格式的斑块生成土地利用变化空间模拟模型,其集成了土地扩张分析模块和基于多类型随机斑块种子机制的CA模型两个模块<sup>[33]</sup>。前一模块通过随机森林算法挖掘各驱动因素对两期土地利用数据间各类用地扩张的贡献程度以及各类用地在空间上的发展概率,后一模块结合随机种子生成和阈值递减机制,根据各地类的总体发展概率,采用轮盘赌机制模拟土地利用竞争,迭代决定各栅格未来土地利用状态。该模型的优势在于对土地利用变化机理具有更好的解释性,能更加精确地模拟未来多种土地利用类型的时空变化,反映实际土地利用变化的不确定性<sup>[34,35]</sup>。

### 3.3 弹性空间划定方法

土地利用结构一定程度上是社会经济在土地利用上的映射,对其进行优化时虽然先要预测目标年人口、经济、粮食需求、城镇化水平等社会经济因素,但未来充满不确定性,预测值不是其未来唯一值,所以这些社会经济指标是不确定变量,为围绕某一值的概率分布,或存在于某一概率区间范围内<sup>[4,14]</sup>。通过预测或专家调查可得到这些不确定指标区间数大小,将其代入区间优化模型求取土地利

用结构,则区间优化的最好最优值与最差最优值分别对应两种极端可能性情景下的土地利用优化结构,这是不确定因素在一定发生可能范围时的土地利用结构弹性区间。弹性空间要最终表达在空间上,因此在优化的数量结构基础上,分别把土地利用结构弹性区间上限和下限对应的数量配置在空间上则会产生两个不同的模拟优化边界,最大与最小边界之间差异部分代表未来土地利用冲突变化的可能性范围,即形成不同用地类型的弹性空间。

本文基于徐州市2015、2020年的土地利用数据,提取出两期数据间各类用地变化部分,并根据研究区特征及相关研究,从自然地理、社会经济方面选取高程、坡度、年降水、年均温、土壤有机质、人口密度、GDP、距政府距离、距水域距离、距铁路距离、距一级道路距离、距二级道路距离、距三级道路距离、距四级道路距离等14个土地利用变化驱动因素,共同导入到PLUS模型的LEAS模块进行采样,运用随机森林算法挖掘土地利用变化与驱动因素的潜在影响关系,获取空间单元上各类用地的发展概率。在此基础上,设置PLUS模型CARS模块相关参数,以2015年为基期年对2020年的土地利用空间布局进行模拟,并计算Kappa系数、总体精度与FoM指标来验证模拟精度。然后以2020年土地利

表1 2030年徐州市土地利用结构区间优化约束条件

Table 1 Constraints of land use structure interval optimization in Xuzhou City, 2030

约束类型	约束表达式	说明
土地总面积约束	$\sum_{j=1}^8 x_j = S$	$x_j$ 为不同土地利用类型面积; $S$ 为研究区土地总面积
耕地面积约束	$x_1 \geq Cul$	$x_1$ 为耕地面积; $Cul$ 为耕地保有量
园地规模约束	$[G_1^L, G_1^U] \times Y \leq x_2 \leq [G_2^L, G_2^U] \times Y$	$x_2$ 为园地面积; $[G_1^L, G_1^U]$ 、 $[G_2^L, G_2^U]$ 为园地面积变化区间; $Y$ 为基期年园地面积
森林覆盖率约束	$x_3 \geq [Fc^L, Fc^U] / \lambda \times S$	$x_3$ 为林地面积; $[Fc^L, Fc^U]$ 表示森林覆盖率浮动区间; $\lambda$ 为林地与森林覆盖率的折算系数
草地面积约束	$x_4 \geq [C^L, C^U] \times M$	$x_4$ 为草地面积; $[C^L, C^U]$ 为草地面积变化区间; $M$ 为基期年草地面积
水域面积约束	$x_5 \geq [N^L, N^U] \times W$	$x_5$ 为水域面积; $[N^L, N^U]$ 为水域面积变化区间; $W$ 为基期年水域面积
城镇工矿用地规模约束	$[P^L, P^U] \times [\delta^L, \delta^U] \times m_1 \leq x_6 \leq U_r + [\eta^L, \eta^U]$	$x_6$ 为城镇工矿用地面积; $[P^L, P^U]$ 为目标年总人口数量变化区间; $[\delta^L, \delta^U]$ 为目标年城镇化率变化区间; $[\eta^L, \eta^U]$ 为城镇工矿用地面积增长区间; $m_1$ 为城镇最低人均建设用地面积; $U_r$ 为基期年城镇工矿用地面积
农村居民点用地规模约束	$\omega \times x_7 \geq [P^L, P^U] \times (1 - [\delta^L, \delta^U]) \times m_2$	$x_7$ 为农村居民点用地面积; $\omega$ 为农村居住用地占居民点用地总面积的比例; $m_2$ 为农村最低人均居住面积
开发强度约束	$(x_6 + x_7) \leq S \times [D^L, D^U]$	$[D^L, D^U]$ 为土地利用开发强度变化区间
未利用地面积约束	$x_8 \leq \beta$	$x_8$ 为未利用地面积; $\beta$ 为基期年末未利用地面积
非负约束	$x_j \geq 0$	各地类面积为非负值



2024年1月

用现状数据为基准,将目标年各类用地数量弹性区间的上下限作为数量需求导入PLUS模型,分别模拟各类用地弹性区间上、下限两种情景对应的空间布局,再对其叠加以空间布局差异部分作为各地类弹性空间。在此基础上,按规划分区对地类适当归并,并按适宜度标准处理其冲突部分,最终得到不同空间规划分区的弹性空间。

## 4 结果与分析

### 4.1 土地利用结构弹性区间

将区间优化模型转化为两个线性优化子模型,用Lingo软件求取得到不同用地类型数量的弹性区间。如表2所示,各用地数量弹性区间范围具有明显差异,区间宽度一定程度上体现了未来社会经济不确定性变化对各用地类型分配面积的影响大小。其中弹性区间宽度较大的用地类型为农村居民点用地、耕地、水域、城镇工矿用地,主要是因为:①研究区城乡低密度开发特征显著,农村居民点数量众多,分布零散,随着城镇化加快农业人口转移,农村土地整治、城乡建设用地增减挂钩、宅基地退出、村庄规划等实施的不确定性会导致农村居民点用地数量结构优化调整,呈现较大范围的波动,其弹性区间宽度为41688.40 hm<sup>2</sup>。②研究区耕地所占比重大,在保障区域粮食安全的前提下,城镇化、工业化进程会占用部分耕地,而农业结构调整、退耕还林、“占补平衡”等政策亦使耕地数量动态变化,这些不确定的社会经济活动导致耕地数量变化呈现较高不确定性,其弹性区间宽度为23885.70 hm<sup>2</sup>。③未来全球变暖、气候干旱事件频发,人为填埋侵占等活动可能会使零散的小型河流坑塘逐渐萎缩,而人工修建的水库、河渠等又间接补充水域

面积,自然灾害与人为调节的不确定性带来水域面积的不确定增减变化趋势,其弹性区间宽度为10127.28 hm<sup>2</sup>。④城镇工矿用地经济产出高,其作为非农经济活动的空间载体需要足够的数量满足未来经济社会发展需求,但未来人口数量及其规模控制、开发强度水平等动态变化导致其数量结构的不确定,其弹性区间宽度为6080.90 hm<sup>2</sup>。

弹性区间宽度较小的用地类型为草地、未利用地,因为两者本身面积不大,研究区的草地类型为其他草地,主要伴随园地、林地生长,受气候变化与人类活动干扰会呈现出一定的不确定性,而未利用地随着开发利用需求增加、技术水平提高,导致其会向其他用地类型转化,受到不确定性的扰动较小。以弹性区间宽度与现状面积的比值表示各类用地对不确定因素的敏感度,则农村居民点用地对不确定因素变化最敏感,因为与现状面积相比,农村居民点受经济、政策不确定影响,未来其面积减少幅度较大,其区间宽度与现状面积比值为0.2269。而园地、草地、水域对不确定因素变化具有相似的敏感度,其区间宽度与现状面积比值约为0.2。除未利用地外,对不确定因素变化敏感度较低的是耕地,因为在耕地保护严格约束下,不确定性引起的耕地面积变化相对其现状面积较小,其区间宽度与现状面积比值为0.0321。

### 4.2 PLUS模型土地利用布局模拟精度

基于徐州市2015年土地利用数据和LEAS模块得到的各类用地发展概率,设置如下模拟约束与参数:根据生态保护要求将水域湖泊设为限制转化区域,设置邻域范围 $n=3$ ,递减阈值的衰减系数设置为0.5,扩张系数设置为0.1,根据经验设置转移成本

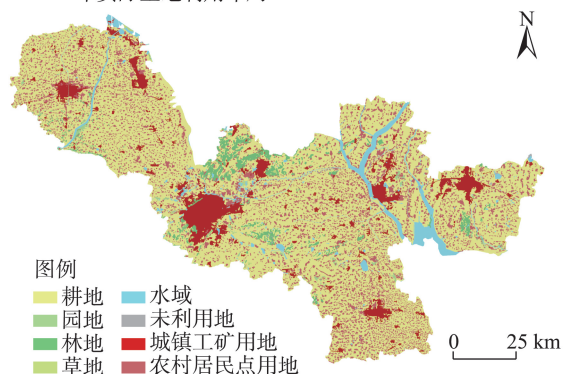
表2 2030年徐州市各用地类型数量弹性区间(hm<sup>2</sup>)

Table 2 Flexible quantity interval of various land use types in Xuzhou City, 2030 (hm<sup>2</sup>)

土地利用类型	区间下限	区间上限	区间宽度	区间宽与现状比值
耕地	724682.10	748567.80	23885.70	0.0321
园地	9314.83	10747.88	1433.06	0.2000
林地	37455.33	39796.29	2340.96	0.0656
草地	2741.35	3428.00	686.65	0.2003
水域	43021.69	53148.97	10127.28	0.2001
城镇工矿用地	103763.70	109844.60	6080.90	0.0709
农村居民点用地	146684.30	188372.70	41688.40	0.2269
未利用地	0.00	0.00	0.00	0.0000

矩阵,并依据研究时段各用地类型变化面积占比来设置邻域权重<sup>[36]</sup>。然后以2020年各地类数量为土地需求模拟其空间布局,结果如图2所示,模拟所得空间布局结果与实际土地利用空间分布相比具有较高相似度。通过建立模拟结果与实际结果对应栅格单元的混淆矩阵,由此计算得到模拟的Kappa系数为0.948,总体精度为97.34%,FoM值为0.06,考虑到模拟周期相对较短,栅格单元变化量比长期研究的变化量相对较少,所以其在可接受范围内<sup>[37]</sup>。总体上模型模拟效果较好,因此可用于后续土地利用空间布局弹性空间的模拟。

a. 2020年实际土地利用布局



b. 2020年模拟土地利用布局

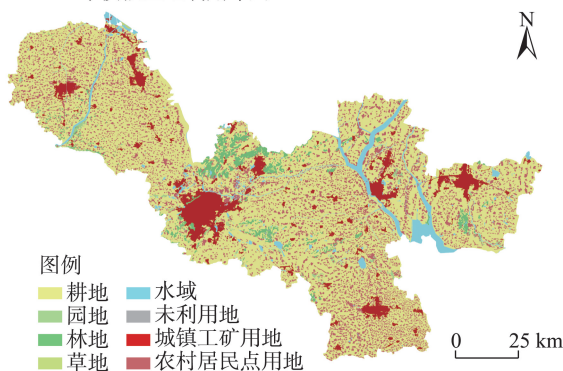


图2 2020年徐州市实际土地利用布局与模拟结果对比

Figure 2 Comparison of actual land use layout and simulated result in Xuzhou City, 2020

### 4.3 土地利用布局变化驱动因素分析

基于PLUS模型LEAS模块,使用随机森林算法挖掘徐州市2015—2020年土地利用布局变化驱动机制,计算得到该时段各驱动因素对土地利用变化的贡献度。如图3所示,贡献度越大表明该因素对特定地类变化的影响程度越大。其中耕地变化主要与距道路距离、年均温、人口密度因素有关,因为

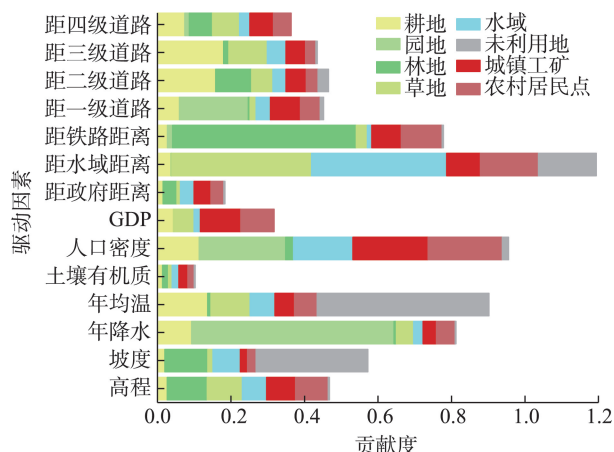


图3 2015—2020年徐州市土地利用布局变化

驱动因素贡献度

Figure 3 Contribution of driving factors of land use layout change in Xuzhou City, 2015–2020

农业生产依赖适宜温度,靠近道路、人口密集的外围区是耕地变化的热点地带,耕地易受人类活动干扰而被侵占。园地变化与降水、人口密度与距道路距离因素存在较强相关性,因为靠近道路更利于茶果产品运输消费。林地变化的主要驱动因素为高程、坡度、距道路距离等,因为林地通常分布在地势较高区域——由于耕作中边际效益不高,只能用作林地,而铁路沿线、道路两侧为绿化环境可能布局更多林地。城镇工矿用地、农村居民点用地变化主要驱动因素为人口密度、GDP、距水域距离、距道路距离、高程,因为人口密度高的区域,往往社会经济活动频繁,GDP较高,建设用地分布密集,人口增长和经济发展的内外动力助推城乡建设用地向外围扩展,同时为寻求地势平坦、水源充足的位置,而趋于向水域附近扩张。

### 4.4 土地利用布局弹性空间

基于前述驱动因素与土地利用变化的影响关系,预测得到各地类在空间上的发展概率。通过PLUS模型分别模拟2030年各类用地结构弹性区间上、下限两种情景对应的空间布局,经叠加将空间布局差异部分划分为各地类弹性空间。如图4所示,各类用地弹性空间分布有一定规律性:①耕地弹性空间分布广泛,集中于城镇建设用地外缘及农村居民点周边,因为这些地区土地利用变化相对活跃,耕地易受生产建设活动干扰而被侵占或因农业结构调整转为其他用地类型,因此该空间区域内的

2024年1月

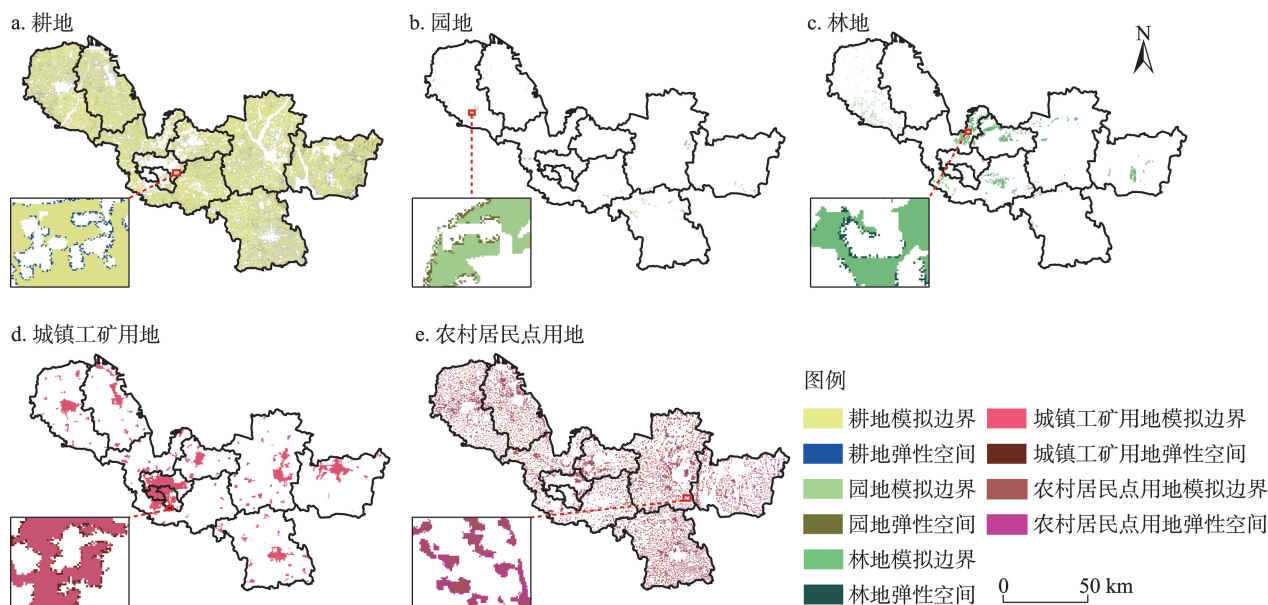


图4 2030年徐州市各类用地布局弹性空间分布模拟

Figure 4 Flexible space distribution simulation of various land use types in Xuzhou City, 2030

耕地可优先纳入未来城镇建设用地增长与农业结构调整备选范围,但同时应对其中的永久基本农田进行严格保护,防止优质耕地过度流失以及无序扩建。②园地弹性空间集中于丰县南部、睢宁县北部、邳州市东部及新沂市东南部,主要分布于河流沿岸及原园地周围,该区域水源充足,适合果桑茶种植,在原范围基础上集中连片更能带来规模经济效益,未来园地数量变化应合理布局在该空间范围内。③林地弹性空间集中于市区北部及西南部、丰县南部、贾汪区中部、铜山区南部与新沂市南部,主要分布在低山丘陵及原林地外围,该区域地势、坡度相对较高,随着生态文明建设与环境保护加强,林地作为生态用地主体未来其数量比重会持续上升,因而退耕还林政策可在该空间范围内加以实施。④城镇工矿用地弹性空间主要集中于城镇外围及内部,遵循城镇发展的惯性,该空间范围可用于容纳城镇增长的需求,社会经济不确定条件下未来城镇开发建设应在城镇开发边界与其重叠区域内寻找适合位置,同时其又为城镇内部存量用地开发、城市更新等留有余地。⑤农村居民点用地弹性空间主要分布在原用地周围及其不适宜建设区,随着农村人口减少,闲置宅基地的退出,为集约利用农村建设用地,减少低密度开发,该空间范围内农村居民点可优先整治,以补充耕地或转为其他助力

乡村振兴所需的合理用途。

#### 4.5 国土空间规划分区的弹性空间

基于各土地利用类型弹性空间,参考国土空间规划分区与用途分类指南对地类适当归并并将研究区分为农业生产区、生态保护区、城镇建设区与乡村发展区,同时按适宜度标准处理弹性空间冲突部分,可得2030年各类规划分区的弹性空间。如图5、图6所示,农业生产区以耕地、园地为主,面积约为726775.5 hm<sup>2</sup>,占总面积的65.43%,其弹性空间面积约为19311 hm<sup>2</sup>,占总面积的1.74%,集中在丰县南部、睢宁县中北部、新沂市东部,在综合考虑转变成本和区域农业发展政策下可用于合理调整农业生产结构布局,开展高标准农田建设,且要严控非农建设的侵占;生态保护区以林地、草地、水域为主,面积约为82894.25 hm<sup>2</sup>,占总面积的7.46%,其弹性空间面积约为2185 hm<sup>2</sup>,占总面积的0.20%,分散于河流沿岸、林地边缘,应加强这些区域的保护力度,在对生态环境不产生破坏的前提下,适度开展观光旅游等活动,防止生产建设活动的干扰与污染,同时可对空间内原有村庄、工矿等用途逐步引导退出以作为生态缓冲带;城镇建设区以城镇工矿用地为主,面积约为90241.25 hm<sup>2</sup>,占总面积的8.12%,其弹性空间面积约为12118.75 hm<sup>2</sup>,占总面积的1.09%,集中在城镇建成区内外围,应根据未来城镇建设规



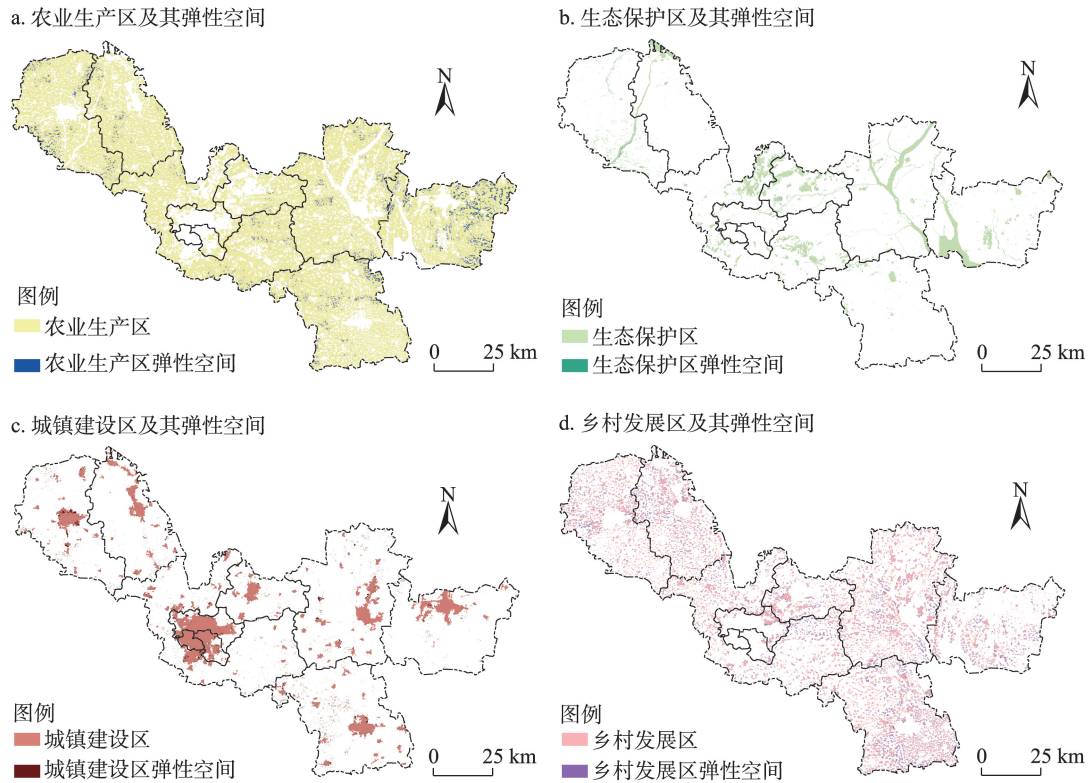


图5 2030年徐州市国土空间规划分区及其弹性空间分布模拟

Figure 5 Simulation of territorial spatial planning zones and their flexible space distribution in Xuzhou City, 2030

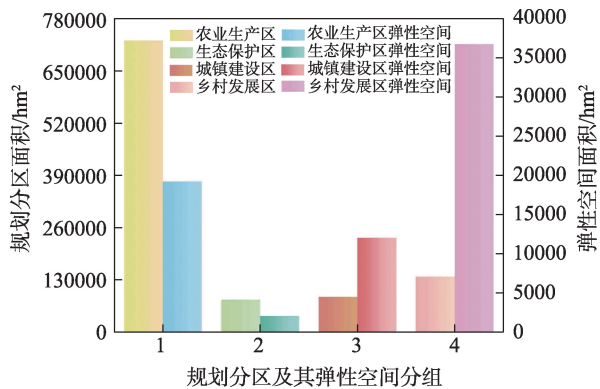


图6 2030年徐州市国土空间规划分区及其弹性空间面积分布柱状图

Figure 6 Histogram of land spatial planning zoning and its flexible space area distribution in Xuzhou, 2030

模与城镇开发边界在该弹性空间范围内为产业发展、人口集聚需求合理选址布局,并按规划用途对建设行为进行管控,防止无序扩张与低效开发;乡村发展区以农村居民点用地为主,面积约为140451.75 hm<sup>2</sup>,占总面积的12.64%,其弹性空间面积约为36807.25 hm<sup>2</sup>,占总面积的3.31%,集中在市区、县城外的低密度开发边缘,受人口变化、土地

整治、乡村振兴政策影响,具有经整理复垦、建新拆旧等向其他用地转化的空间优化潜力,应按村庄规划等合理优化布局以促进乡村特色产业发展、改善农民生产生活条件。

## 5 讨论与结论

### 5.1 讨论

从数量结构、空间布局方面调控土地利用一直是国土规划管理的核心<sup>[38]</sup>,以往规划过分强调刚性约束,未能从弹性视角来应对社会经济发展不确定性扰动影响。随着现代化国土空间治理推进,规划已开始注重分解刚性指标、营造弹性空间,这是规划理念的重大调整,有助于提高国土空间优化决策的有效性。

徐州市正处于社会经济发展转型期,受城镇化、非农化与工业化的混合影响,人口、社会、经济与产业等要素高度异质且快速变化,在保证粮食安全前提下,亟需以弹性化的国土空间管控方式来平衡经济增长与生态保护的关系,以适应未来不确定社会经济变化态势。目前已有相关的弹性城镇开发边界划定实践,主要是通过建立模型来模拟未来

2024年1月

城市空间的动态变化并预测其弹性边界,如Zhao等<sup>[39]</sup>基于Markov-FLUS模型划定了2020年重庆市主城区的弹性城市增长边界,Pu<sup>[40]</sup>利用CA-Markov模型预测模拟得到了未来30年海口市的弹性增长边界等。弹性城镇开发边界的划定,有利于减轻现行刚性边界划定愈发体现出的不适应性,为城市未来长远发展及突发事件应对预留足够的弹性空间,促进城市有序、高效、可持续发展,实现国土空间规划的刚弹结合。与其相比,本文方法不仅可预测未来城镇增长弹性边界,还能得到其他地类的弹性空间范围,所以更具实用性与可操作性,模拟的土地利用布局弹性空间可作为刚性空间管制的补充<sup>[41]</sup>,在符合空间规划和用途管制要求前提下按不确定需求进行用途兼容性转换,同时制定相应的转换规则。政府在用地性质与结构上提供宏观指引,而其具体用途及比例可灵活调整<sup>[42,43]</sup>。

国土空间规划存在诸多不确定性来源,本文主要考虑了社会经济不确定性,但实际还存在生态环境、空间数据、模型参数等不确定性,未来应纳入更多不确定性类型以探究其联合影响及交互作用。各地类的经济效益系数、生态价值系数通过预测计算得到,可能与实际情况存在偏差,未来应采用更准确的预测算法提高区间估计的准确性与时效性。此外,未来各地类的弹性空间要与“三生”空间有效衔接,在多情景下进行比较分析,综合权衡,以弹性空间为切入点,探索国土空间混合利用模式与弹性管控体系,为不确定环境下经济社会发展提供弹性国土空间保障。

## 5.2 结论

未来发展面临的不确定性日益凸显,国土空间规划开始从刚性管控走向更加灵活的弹性治理,弹性空间成为减轻不确定性扰动、预留缓冲范围的空间管制创新重要方向。本文基于区间优化与PLUS模型,提出不确定条件下土地利用布局弹性空间划定方法,模拟不确定条件下土地利用布局弹性空间,划定国土空间规划弹性空间体系,可为国土空间规划弹性治理提供支持。主要得到以下结论:

(1)综合区间优化与PLUS模型,把不确定性纳入土地利用布局变化模拟以划定弹性空间,是应对不确定性扰动的有效方法。该方法在徐州市国土

空间划定中表现出适用性,土地利用布局模拟的整体精度较高,可为区域国土开发利用、用途管制等提供空间依据与方法参考。

(2)在社会经济不确定性扰动下,各用地数量弹性区间大小具有明显差异。对未来不确定性贡献较大的用地类型是农村居民点用地、耕地、水域,其次是城镇工矿用地、林地与园地,而较小的是草地、未利用地。

(3)耕地变化主要驱动因素为距道路距离、年均温、人口密度,园地变化主要与降水、人口密度与距道路距离因素有关,林地变化的主要驱动因素为高程、坡度、距铁路距离,草地变化主要与距水域距离、年均温、高程因素有关,城镇工矿用地、农村居民点用地变化主要驱动因素为人口密度、GDP、距水域距离、距道路距离。

(4)模拟划定的各类用地弹性空间分布有一定规律性。其中耕地弹性空间集中于城镇、农村建设用地周边土地利用变化热点区,园地、林地弹性空间集中于河流沿岸、低山丘陵等适宜生长区,城镇工矿、农村居民点用地弹性空间主要分布在城乡原用地外缘。

(5)基于各土地利用类型弹性空间,按规划分区归并土地类型,同时按适宜度标准处理弹性空间冲突部分,最终得到不同空间规划分区的弹性空间。农业生产区、生态保护区、城镇建设区与乡村发展区的弹性空间面积占总面积比例分别为1.74%、0.20%、1.09%与3.31%,可见未来农村建设用地是国土空间剧烈变化对象,受社会经济不确定性扰动较大。

## 参考文献(References):

- [1] 焦利民,刘耀林. 可持续城市化与国土空间优化[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(1): 1-11. [Jiao L M, Liu Y L. Sustainable urbanization and territorial spatial optimization[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(1): 1-11.]
- [2] 梁鑫源,金晓斌,孙瑞,等. 粮食安全视角下的土地资源优化配置及其关键问题[J]. 自然资源学报, 2021, 36(12): 3031-3053. [Liang X Y, Jin X B, Sun R, et al. Optimal allocation of land resources and its key issues from a perspective of food security[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(12): 3031-3053.]
- [3] 陈红,陈莎,叶艳妹. 面向农业高质量发展的耕地保护转型研究

- [J]. 农业现代化研究, 2023, 44(1): 55–64. [Chen H, Chen S, Ye Y M. Research on the transformation path of farmland protection under the high-quality agricultural development[J]. Research of Agricultural Modernization, 2023, 44(1): 55–64.]
- [4] 李鑫, 严思齐, 肖长江. 不确定条件下土地资源空间优化的弹性空间划定[J]. 农业工程学报, 2016, 32(16): 241–247. [Li X, Yan S Q, Xiao C J. Determination of flexible space for land resource spatial optimization under uncertain conditions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(16): 241–247.]
- [5] 王群, 王万茂. 不确定性与土地利用规划[J]. 中国土地科学, 2012, 26(5): 88–91. [Wang Q, Wang W M. Uncertainty and land use planning[J]. China Land Science, 2012, 26(5): 88–91.]
- [6] 吴次芳, 邵霞珍. 土地利用规划的非理性、不确定性和弹性理论研究[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2005, (4): 98–105. [Wu C F, Shao X Z. A study on the irrational, uncertain and flexible theory of land use planning[J]. Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences), 2005, (4): 98–105.]
- [7] 王万茂, 王群. 土地利用规划中不确定性的识别和处理研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(10): 84–90. [Wang W M, Wang Q. Identification and treatment of uncertainty in land use planning [J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(10): 84–90.]
- [8] 罗艳华, 李平星. 弹性空间研究的知识图谱分析与重点方向展望[J]. 热带地理, 2022, 42(4): 533–543. [Luo Y H, Li P X. Visualization analysis of research hotspots and frontiers of flexible space and future prospects[J]. Tropical Geography, 2022, 42(4): 533–543.]
- [9] 梁鑫源, 金晓斌, 孙瑞, 等. 多情景粮食安全底线约束下的中国耕地保护弹性空间[J]. 地理学报, 2022, 77(3): 697–713. [Liang X Y, Jin X B, Sun R, et al. China's resilience-space for cultivated land protection under the restraint of multi-scenario food security bottom line[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 697–713.]
- [10] 张晓琳, 金晓斌, 吴心怡, 等. 基于系统保护理念的弹性生态保护空间划定: 以广东省茂名市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(18): 7393–7405. [Zhang X L, Jin X B, Wu X Y, et al. Delineation of flexible ecological protection space based on the concept of systematic conservation: Take Maoming City of Guangdong Province as an example[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(18): 7393–7405.]
- [11] Li X, Ma X D. An uncertain programming model for land use structure optimization to promote effectiveness of land use planning[J]. Chinese Geographical Science, 2017, 27: 974–988.
- [12] Zhou M, Ma Y X, Tu J T, et al. SDG-oriented multi-scenario sustainable land-use simulation under the background of urban expansion[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, DOI: 10.1007/s11356-022-20904-9.
- [13] Ma Y X, Wang M C, Zhou M, et al. Multiple scenarios-based on a hybrid economy-environment-ecology model for land-use structural and spatial optimization under uncertainty: A case study in Wuhan, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2022, 36(9): 1–24.
- [14] 李鑫, 欧名豪, 严思齐. 基于区间优化模型的土地利用结构弹性区间测算[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 240–247. [Li X, Ou M H, Yan S Q. Calculation of elastic interval of land use structure based on interval optimization model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(17): 240–247.]
- [15] Gu J J, Zhang X R, Xuan X D, et al. Land use structure optimization based on uncertainty fractional joint probabilistic chance constraint programming[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2020, 34: 1699–1712.
- [16] Ma S H, Wen Z Z. Optimization of land use structure to balance economic benefits and ecosystem services under uncertainties: A case study in Wuhan, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127537.
- [17] Zhou M, Cai Y L, Guan X L, et al. A hybrid inexact optimization model for land-use allocation of China[J]. Chinese Geographical Science, 2015, 25: 62–73.
- [18] 贾克敬, 何鸿飞, 张辉, 等. 基于“双评价”的国土空间格局优化[J]. 中国土地科学, 2020, 34(5): 43–51. [Jia K J, He H F, Zhang H, et al. Optimization of territorial space pattern based on resources and environment carrying capacity and land suitability assessment[J]. China Land Science, 2020, 34(5): 43–51.]
- [19] 尹奇, 吴次芳, 罗罡辉. 土地利用的弹性规划研究[J]. 农业工程学报, 2006, (1): 65–68. [Yin Q, Wu C F, Luo G H. Flexible planning of land use[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, (1): 65–68.]
- [20] 辜寄蓉, 朱明仓, 江浏光艳, 等. 国土空间规划中弹性空间的作用与划分[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(12): 39–47. [Gu J R, Zhu M C, Jiang L G Y, et al. The effect and dividing of flexible space in territory spatial planning[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(12): 39–47.]
- [21] 傅丽华, 彭耀辉, 谢美, 等. 山区县国土空间规划协同的弹性空间测度: 以湖南省茶陵县为例[J]. 地理科学进展, 2020, 39(7): 1085–1094. [Fu L H, Peng Y H, Xie M, et al. Resilience spatial measurement of coordinated spatial planning in hilly areas: A case study of Chaling County, Hunan Province[J]. Progress in Geography, 2020, 39(7): 1085–1094.]
- [22] 吴文俊, 张雪微, 郭杰, 等. “多目标”需求下扬州市土地利用布局优化[J]. 生态学报, 2022, 42(19): 7952–7965. [Wu W J, Zhang X W, Guo J, et al. Optimization of land use layout in Yangzhou City for multi-objective demand[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(19): 7952–7965.]
- [23] 林英志, 邓祥征, 战金艳. 区域土地利用竞争模拟模型与应用: 以江西省为例[J]. 资源科学, 2013, 35(4): 729–738. [Lin Y Z, Deng X Z, Zhan J Y. Simulation of regional land use competition for Jiangxi Province[J]. Resources Science, 2013, 35(4): 729–738.]



2024年1月

- [24] 陈红, 史云扬, 柯新利, 等. 生态与经济协调目标下的郑州市土地利用空间优化配置[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 717–728. [Chen H, Shi Y Y, Ke X L, et al. Spatial optimization of land use based on the objective of coordinated ecological protection and economic development in Zhengzhou City[J]. Resources Science, 2019, 41(4): 717–728.]
- [25] 王祺, 蒙古军, 毛熙彦. 基于邻域相关的漓江流域土地利用多情景模拟与景观格局变化[J]. 地理研究, 2014, 33(6): 1073–1084. [Wang Q, Meng J J, Mao X Y. Scenario simulation and landscape pattern assessment of land use change based on neighborhood analysis and auto-logistic model: A case study of Lijiang River Basin[J]. Geographical Research, 2014, 33(6): 1073–1084.]
- [26] 孔雪松, 朱思阳, 金志丰. 国土空间用途管制刚性与弹性的互动逻辑及优化路径[J]. 规划师, 2020, 36(11): 11–15. [Kong X S, Zhu S Y, Jin Z F. Optimization path and interactive logic of rigidity and elasticity of national land space use regulation[J]. Planners, 2020, 36(11): 11–15.]
- [27] 张文忠, 余建辉. 中国资源型城市转型发展的政策演变与效果分析[J]. 自然资源学报, 2023, 38(1): 22–38. [Zhang W Z, Yu J H. Policy evolution and transformation effect analysis of sustainable development of resource-based cities in China[J]. Journal of Natural Resources, 2023, 38(1): 22–38.]
- [28] Lin Q G, Huang G H. IPEM: An interval-parameter energy systems planning model[J]. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 2008, 30(14): 1382–1399.
- [29] Hu M M, Wang Y F, Xia B C, et al. How to balance ecosystem services and economic benefits? A case study in the Pearl River Delta, China[J]. Journal of Environmental Management, 2020, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110917.
- [30] 郭均鹏, 李汶华. 区间线性规划的标准型及其最优值区间[J]. 管理科学学报, 2004, (3): 59–63. [Guo J P, Li W H. Standard form of interval linear programming and its optimal objective interval value[J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, (3): 59–63.]
- [31] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243–1254. [Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243–1254.]
- [32] 汪清川, 奚砚涛, 刘欣然, 等. 生态服务价值对土地利用变化的时空响应研究: 以徐州市为例[J]. 自然资源遥感, 2021, 33(3): 219–228. [Wang Q C, Xi Y T, Liu X R, et al. Spatial-temporal response of ecological service value to land use change: A case study of Xuzhou City[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33(3): 219–228.]
- [33] Liang X, Guan Q F, Clarke K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, DOI: 10.1016/j.compenvurbysys.2020.101569.
- [34] 李琛, 高彬斌, 吴映梅, 等. 基于PLUS模型的山区城镇景观生态风险动态模拟[J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(1): 84–94. [Li C, Gao B P, Wu Y M, et al. Dynamic simulation of landscape ecological risk in mountain towns based on PLUS model[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2022, 39(1): 84–94.]
- [35] 杨润佳, 叶艳妹. 基于土地资源优化配置的国土整治修复潜在区域识别: 以黄河流域为例[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 886–898. [Yang R J, Ye Y M. Identification of potential areas for land consolidation and ecological restoration via optimal allocation of land resources: Taking the Yellow River Basin as an example[J]. Resources Science, 2022, 44(5): 886–898.]
- [36] 王保盛, 廖江福, 祝薇, 等. 基于历史情景的FLUS模型邻域权重设置: 以闽三角城市群2030年土地利用模拟为例[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4284–4298. [Wang B S, Liao J F, Zhu W, et al. The weight of neighborhood setting of the FLUS model based on a historical scenario: A case study of land use simulation of urban agglomeration of the Golden Triangle of Southern Fujian in 2030 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(12): 4284–4298.]
- [37] Pontius R G, Boersma W, Castella J C, et al. Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change[J]. The Annals of Regional Science, 2008, 42: 11–37.
- [38] 李鑫, 李宁, 欧名豪. 土地利用结构与布局优化研究述评[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(11): 103–110. [Li X, Li N, Ou M H. Review of the studies on land use structure and layout optimization [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30 (11): 103–110.]
- [39] Zhao Z L, Guan D J, Du C L. Urban growth boundaries delineation coupling ecological constraints with a growth-driven model for the main urban area of Chongqing, China[J]. GeoJournal, 2020, 85: 1115–1131.
- [40] Pu L M. Demarcation of future urban rigid and elastic development boundaries of the City of Haikou[J]. Sustainability, 2022, DOI: 10.3390/su14052874.
- [41] 柳晓娟, 侯华丽. 混合产业用地的供给思维[J]. 中国土地, 2022, (9): 29–32. [Liu X J, Hou H L. The supply thinking of mixed industrial land[J]. China Land, 2022, (9): 29–32.]
- [42] 张梦竹, 周素红. 城市混合土地利用新趋势及其规划控制管理研究[J]. 规划师, 2015, 31(7): 42–48. [Zhang M Z, Zhou S H. Mixed land use trend and planning management[J]. Planners, 2015, 31(7): 42–48.]
- [43] 唐爽, 张京祥, 何鹤鸣, 等. 土地混合利用及其规建管一体制度创新[J]. 城市规划, 2023, 47(1): 4–14. [Tang S, Zhang J X, He H M, et al. Mixed-use development of land and institutional innovation based on the integration of planning, construction, and management[J]. City Planning Review, 2023, 47(1): 4–14.]

## Simulation of flexible space of land use layout in Xuzhou City based on the PLUS model

XU Haibin<sup>1</sup>, XIAO Changjiang<sup>2</sup>, LIU Yawen<sup>1</sup>, DENG Shiqi<sup>1</sup>, LI Xin<sup>1,3</sup>

(1. School of Public Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. School of Taxation and Public Administration, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China; 3. Research Center for Transformation Development and Rural Revitalization of Resource-based Cities in China, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** [Objective] As an innovative way of regulating territorial space, the planning of flexible space is of great significance for improving the scientific quality and effectiveness of spatial planning, and reducing the disturbance and impact of uncertain factors. This study aimed to explore the delineation of land use layout flexible space under uncertain conditions. [Methods] The study took Xuzhou City, a typical resource-based city, as an example. First, an interval optimization model was used to obtain the flexible quantity interval of various land use types. Then, the upper and lower limits of the interval served as the quantity demand to import the PLUS model to simulate the spatial layout of various land use types, and the difference between the two simulated layouts was designated as flexible space. [Results] The results show that: (1) There are differences in the size of the flexible quantity interval of each land use type, among which land use types that contribute more to addressing future uncertainty are rural residential land, farmland, water, urban industrial and mining land, while the smaller ones are grassland and bare land. (2) The flexible space distribution of various land use types shows a certain pattern, and the flexible space of farmland is concentrated in the hotspots of land use change around urban and rural areas, the flexible space of garden plot and woodland is distributed in suitable growth areas such as river banks and low hills, and the flexible space of urban industrial and mining land and rural residential land is mainly distributed in the outer edge areas of their original scope. (3) Based on the flexible space of each land use type, the land types were merged according to the zoning function of the planning, and the conflicting parts of the flexible space were processed according to the suitability to obtain the flexible space of different spatial planning zones. Among them, the flexible space areas of agricultural production zones, ecological protection zones, urban construction zones, and rural development zones account for 1.74%, 0.20%, 1.09%, and 3.31% of the total area, respectively. [Conclusion] The probability distribution of possible conflicts in land use space is the prerequisite for the delineation of flexible space. It is necessary to delineate flexible space of land use layout from an uncertain perspective. Based on interval optimization and PLUS model, the delineation method of flexible space proposed in this study seems feasible, which can provide support for planning decisions.

**Key words:** land use layout; PLUS model; uncertainty; flexible space; Xuzhou City