

基于景观安全格局的城镇建设用地扩张多情景模拟研究^① ——以扬州市为例

孟霖¹, 郭杰^{1,2,3}, 欧名豪^{1,2,3*}, 李昆鹏⁴

(1 南京农业大学土地管理学院, 南京 210095; 2 统筹城乡发展与土地管理创新研究基地, 南京 210095;

3 农村土地资源利用与整治国家地方联合工程研究中心, 南京 210095; 4 大明湖街道瞬井社区委员会, 济南 250011)

摘要: 城镇建设用地多情景模拟有利于实现土地资源优化配置, 保障区域可持续发展。本文以扬州市为例, 以 2005 年、2013 年土地利用变更数据为训练数据, 借助景观安全格局与 ANN-CA 模型模拟城镇建设用地扩张趋势, 并利用城镇建设用地转移矩阵与景观格局指数分析 2013—2020 年城镇建设用地模拟结果。研究结果表明: 不同情景下的城镇建设用地模拟扩张占用其他景观规模不同, 但均占用农村居民点规模最多, 其中, 惯性发展情景下, 模拟新增城镇建设用地以布局在低景观安全格局为主, 占用耕地、水域、林地规模较高; 基本保障情景下, 模拟新增的城镇建设用地主要布局在中景观安全格局区域, 较惯性发展情景占用耕地规模增加, 占用水域、林地规模减少; 与惯性发展情景、基本保障情景相比, 最优保护情景下占用耕地规模略高但集中于高景观安全格局区, 新增占用水域规模、林地规模降低。不同情景下的景观格局也存在差异, 惯性发展情景下, 景观格局变化一定程度有利于促进城镇化发展, 但不利于耕地机械化生产, 影响林地、水域生态服务功能; 基本保障情景下, 景观格局变化一定程度上有利于城乡社会经济发展, 对非人工景观的破坏程度较惯性发展情景降低; 最优保护情景下, 景观格局变化更有利于区域社会、经济及生态发展。惯性发展情景下, 应适当规划生态基础设施, 严格划定永久性基本农田; 基本保障情景下, 应充分发挥景观安全格局的生态底线功能, 引导城镇建设用地合理开发与布局; 最优保护情景下, 可通过存量建设用地挖潜等措施提高土地集约利用水平。

关键词: 城镇建设用地; 景观安全格局; ANN-CA 模型; 多情景预测

中图分类号: F301.2 **文献标识码:** A

改革开放以来, 我国工业化与城镇化快速推进, 作为社会经济发展的重要载体, 城镇建设用地扩张十分迅速, 且外延扩张特征明显^[1], 导致耕地、水域、林地等重要的生态服务型景观被侵占, 区域生态安全面临严重威胁^[2-3]。城镇建设用地扩张模拟可通过一定模型或技术手段, 对未来的城镇建设用地时空发展进行拟合, 能为城镇建设用地管理与调控提供决策支持, 是城镇建设用地扩张研究的重要内容^[4]。如何在生态保护的条件下, 合理模拟城镇建设用地扩张空间布局, 是实现土地利用结构优化调整、保障区域可持续发展的重要议题^[5]。

近年来, 伴随“反规划”理论的提出, 从生态保护视角探索新增城镇建设用地模拟配置方案成为当

前学术界研究的热点^[6]。其中, 构建生态安全格局作为区域生态环境的基本保障和重要途径, 成为指导城镇建设用地有序扩张的重要依据^[7]。学者们针对生态安全格局的概念、理论基础、构建原则与方法等展开了大量研究^[8-9]。俞孔坚等学者^[10-12]以景观格局与过程的相互作用机制为核心, 建立了以生态基础设施为基础的景观安全格局, 进一步优化了生态安全格局构建的理论基础与方法, 并应用于城市生态底线划定、城市增长预警、城乡统筹发展等方面, 为城镇建设用地的科学管控与精明增长提供了重要的科学依据^[7,13]。同时, 现有研究中常用的城镇建设用地扩张模拟模型主要包括元胞自动机(CA)模型、人工神经网络(ANN)模型、马尔科夫(Markov)模型、系统动力

基金项目: 国家自然科学基金项目(71774086; 71774085), 江苏高校哲学社会科学优秀创新团队项目(2015ZSTD004)和江苏省普通高校学术学位研究生创新计划项目(KYLX15_0540)资助。

* 通讯作者(mhou@njau.edu.cn)

作者简介: 孟霖(1988—), 女, 山东济南人, 博士研究生, 主要研究方向为土地利用规划与管理。E-mail: 465545167@qq.com

学(SD)模型、CLUE-S 模型、灰色系统分析模型等^[14]。其中, CA 模型是近年来新兴的土地利用结构预测方法,具有较强的空间分析与表达能力,成为城镇建设用地扩张模拟的主流方法^[15],但由于 CA 模型无法反映元胞状态、转换规则及邻域元胞特征,而降低了模拟精度^[16],黎夏和叶嘉安^[17]结合 ANN 模型,进一步构建了神经网络-元胞自动机(ANN-CA)模型,利用神经网络训练获取土地利用变化规则,替代 CA 模拟过程中的人工参数设置,提高了传统 CA 模型的模拟精度,被逐渐运用于城镇建设用地模拟与预测研究中。现有研究基于景观安全格局指导城镇建设用地配置时,仅应用于建设用地管制区的划定,对城镇建设用地配置的指导精度不足^[7];在应用 ANN-CA 模拟城镇建设用地扩张时,城镇建设用地可拓元胞空间的设定缺乏划定依据,且城镇建设用地扩张的影响因子多通过主观判断选择常见的空间影响因子,较少通过系统的理论分析选择适当的影响因子^[4],一定程度上降低了城镇建设用地扩张模拟的合理性。

扬州市地处江苏省中部,长江下游北岸,江淮平原南端,是南京都市圈和长三角城市群城市。境内水系发达,林地众多,自然环境优越,是我国东部典型的生态型城市。作为中国最具活力的长江三角洲经济圈重要节点城市,扬州市交通便利,连结苏南、皖北,辐射苏北腹地,社会经济发展迅速,城镇建设用地扩张十分迅速,并侵占了大量耕地和生态用地,极易引发区域粮食产量降低、河湖调蓄能力减弱、水土流失加剧、游憩空间压缩等问题。在当前“多规合一”的规划要求下,扬州市社会经济发展、生态保护等规划的多目标冲突明显。

因此,本文以扬州市为例,以 2005 年、2013 年土地利用变更数据为训练数据,借助 ANN-CA 模型,基于景观安全格局划定不同情景的元胞空间,结合供求理论挑选城镇建设用地扩张影响因子,进行多情景的城镇建设用地扩张模拟,并利用城镇建设用地转移矩阵与景观格局指数分析 2013—2020 年的模拟结果,以期新一轮土地利用总体规划提供科学依据,协调经济发展与资源环境保护的关系,实现区域可持续发展^[7,18]。

1 研究方法

1.1 基于生态服务价值维护的景观安全格局构建

生态系统服务是生态系统与生态过程中形成的维护人类生存与发展的自然效用。千年生态系统评估(millennium ecosystem assessment, EMA)将生态系统

服务功能主要划分为供给功能、调节功能、支持服务、文化服务 4 大方面,结合研究区社会经济发展特征及景观特征,需要重点维护的生态服务可归纳为粮食安全、防洪安全、生物保护、游憩景观保护^[8,19],因此构建粮食安全格局、防洪安全格局、生物保护安全格局、游憩安全格局,均划分为低、中、高 3 个等级。其中,构建粮食安全格局时,将距离基本农田 0 ~ 500、500 ~ 800、> 800 m 作为粮食安全格局的低、中、高水平区域^[20-21];防洪安全格局利用“无源淹没”方法^[22],建立五十年一遇(8.85 m)、二十年一遇(6.36 m)、十年一遇(5.69 m)的洪水风险级别下的淹没格局,同时构建以水库水面、河流湖泊、内陆滩涂等具有调蓄功能的水域为源地的蓄洪格局,叠加淹没格局与蓄洪格局,建立区域防洪安全格局,并划分为低、中、高 3 个等级;生物保护安全格局构建时,选择白鹭(候鸟)和灰喜鹊(留鸟)作为研究区指示性物种^[23],分别采用生境适宜性评价法和阻力面分析法确定其生境安全格局^[7],利用叠加分析与自然断点法,构建低、中、高 3 级生物保护安全格局;将域内水体、滩涂、风景名胜、乡土文化遗产作为构建区域游憩安全格局的源地^[7],采用最小阻力模型与自然断点法,构建低、中、高 3 个等级的区域游憩安全格局^[24]。利用“木桶原理”叠加各评价单元的各类型景观安全格局水平,综合取低后得到研究区综合景观安全格局。

1.2 基于供求理论的城镇建设用地扩张影响因子选择

土地资源作为一种“特殊商品”,在市场运行过程中必然受供求关系制约,其时空配置符合供求理论的内在规律^[25-26]。因此,城镇建设用地开发不仅受区域供给能力的制约,也受社会经济发展需求的影响,其规模是土地供给与需求相互作用下的动态均衡。土地供给分为自然供给与经济供给两种形式,城镇建设用地以无弹性的自然供给为基础,以经济供给为主,受本底条件、技术水平、区位条件、土地利用集约化程度等条件制约,而政府拥有城镇土地所有权和实际上的集体土地开发权,因此城镇建设用地供给还受政府宏观调控行为约束。同时,伴随社会经济快速发展,人口增长与经济发展需要更多生活与生产空间,促使城镇建设用地需求量不断增长。有限的城镇建设用地供给与不断增长的需求之间依托供求关系,通过市场运行机制的调节作用,最终决定区域的城镇建设用地时空配置特征^[26]。因此,应从城镇建设用地供给与需求角度,挑选城镇建设用地扩张影响因子(表 1)。供给要素中,选取坡度测度区域本底条件,城镇建设

用地宜布局在地势平坦地区,坡度越高,越不利于城镇建设用地扩张^[27];选择代表技术投入水平的 R&D 经费内部支出作为衡量区域技术水平的指标^[28];选择到市中心距离与交通通达度作为衡量区位条件的指标^[26];选择地均固定资产投资作为衡量土地集约

程度的指标^[29-30];选择土地出让收入作为衡量地方政府管控城镇建设用地扩张的政策制度的重要指标。需求要素中,选择城镇人口规模作为衡量人口增长的指标^[31],选择二、三产业增加值作为衡量经济发展水平的重要指标^[26, 31-32]。

表 1 城镇建设用地扩张影响因子表
Table 1 Influential factors of expansion of urban construction land

影响要素	影响要素	影响因子	变量说明
供给要素	本底条件	坡度	栅格的坡度(°)
	技术水平	R&D 经费内部支出	技术投入水平(万元)
	区位条件	到市中心距离	城镇建设用地到市中心的平均距离(m)
		交通通达度	公路面积/区域总面积(%)
	集约程度	地均固定资产投资	固定资产投资额/建设用地规模(万元 hm ²)
	政策制度	土地出让收入	地方政府的土地财政规模(万元)
需求要素	人口增长	城镇人口数量	城镇区域的人口规模(人)
	经济发展	二、三产业增加值	二、三产业的增加值(万元)

1.3 基于 ANN-CA 模型的多情景城镇建设用地扩张模拟

ANN-CA 由模型纠正(训练)与模拟两大独立模块组成, ANN-CA 模型运行主要包括确定元胞与元胞空间、设定训练与模拟参数等步骤^[17, 33]。

1) 元胞与元胞空间:本研究基于 ANN-CA 模型,耦合地理信息系统(GIS)平台,以扬州市全域土地利用现状图为底图,确定 30 m × 30 m 的栅格单元为元胞,每个元胞代表的土地面积为 0.9 km²;根据《土地利用现状分类》(GB/T201010—2007),结合扬州市土地利用特征^[34-36],将研究区划分为耕地、林地、草地、水域、城镇建设用地、农村居民点、交通过地、未利用地 8 类景观,因此有 8 种类型的元胞。元胞空间即城镇建设用地可扩张空间,根据景观安全格局构建结果,设定基于惯性发展情景、基本保障情景、最优保护情景下的元胞空间(表 2)。

表 2 不同模拟情景下的元胞空间
Table 2 Cell spaces in different scenarios

情景	元胞空间
惯性发展情景	研究区全域
基本保障情景	中、高安全格局区域
最优保护情景	高安全格局区域

2) 训练与模拟参数设定:ANN-CA 模型设置 2005 年、2013 年土地利用变更数据为训练初始年数据与终止年数据,输入城镇建设用地影响因子,并设置输入层为 17 个神经元,对应 8 项影响城镇建设用

地扩张的影响因子、8 项邻域空间内的其他景观类型数量信息和 1 个当前元胞景观信息;3 层神经网络隐藏层的神经元数目至少为输入层神经元数目的 2/3,设定为 12;输出层包括 8 个输出项,分别对应不同景观类型的训练概率^[36]。由于遍历所有数据耗时较长且难以收敛,需对数据做抽样处理,设定抽样比例为 5%,其中训练集比例为 80%,验证集比例为 20%,学习速率设为 0.05,迭代次数达 500 次时训练终止^[37-38]。根据《扬州市土地利用总体规划(2006—2020)》中新增城镇建设用地指标,确定 2013—2020 年新增城镇建设用地 4 097.76 hm²,模拟 2020 年不同情景下的不同元胞空间内新增城镇建设用地空间布局。

1.4 基于景观格局指数的模拟结果分析

景观格局指数通过构建数学模型测度区域景观格局信息,可高度体现区域景观格局信息,充分表达研究区景观结构组成或重建配置情况,景观水平与景观类型水平的景观格局指数具有重要的生态意义^[39-40]。破碎化、连通性、景观形态是区域主要景观类型的代表性景观特征,而景观多样性是景观水平具有重要生态意义的景观指数^[41-42]。城镇建设用地扩张侵占其他景观类型空间,改变地表形态,必然导致景观类型的破碎度、连通性、形态发生变化,造成景观多样性发生变化,进而影响生态过程与功能。其中,景观破碎化是导致城市生物多样性丧失的重要原因,耕地、农村居民点、城镇建设用地等人类生活、生产型的人工景观破碎化,会导致区域规模经营受阻,影响社会、经济发展。景观破碎化可通过 NP(斑块数量)测度,NP 越

大破碎度越高^[39, 43]。景观连通性是景观实现其生态与生产功能的重要前提,可通过 AI(聚集度指数)测度, AI 越高连通性越强^[39, 44]。景观形态越规则,证明人类改造景观的力度越强,景观形态对不同景观类型的作用不同;对于林地、水域、草地等生态型的非人工景观,其景观形态越复杂,越有利于保护生境内的生物多样性;但如耕地、农村居民点、城镇建设用地等人工景观,景观形态越规则,越有利于大规模的生产活动。景观形态通过 LSI(斑块形状指数)测度, LSI 越小景观越规则^[39, 45]。景观多样性是影响区域生态系统稳定性的重要因素,研究区内景观类型越丰富,越有利于基因多样性的保护与维持;景观多样性可通过 SIEI(辛普森多样性指数)测度, SIEI 越大景观多样性越强^[39, 46]。由于研究区草地、未利用地面积较小,交通用地为线状景观,因此本文仅分析城镇建设用地、农村居民点、耕地、林地、水域的景观格局特征。

2 数据来源及处理

2.1 数据来源

城镇建设用地扩张影响因子中,坡度数据取自扬州市 DEM 图,距市中心距离、交通通达度等空间数据取自扬州市 2013 年土地利用现状图;R&D 经费内部支出、土地出让收入、城镇人口数量、固定资产投资额、二三产业增加值等社会经济数据来源于 2006—2014 年《扬州市统计年鉴》及各区(县、市)统计年鉴。

2.2 数据处理

本文以 30 m × 30 m 的栅格为基本评价单元,借助 ArcGIS10.2 构造区域景观安全格局。城镇建设用地扩张影响因子中的空间数据通过 ArcGIS10.2 的空间分析功能得到各栅格的评价指标值,社会经济数据以行政村作为数据载体,利用克里金线性插值对栅格单元进行指标赋值。通过 GEOSOS 插件实现城镇建设用地 ANN-CA 模型的建立、训练与模拟。景观格局指数利用 FRAGSTATS4.2 测算得到。

3 结果分析

3.1 研究区景观安全格局

景观安全格局构建结果表明(图 1),研究区低景观安全格局区面积 456 509.07 hm²,占景观安全格局构建区域总面积的 75.76%,是景观安全格局的“核心区”,是区域发展中不可逾越的生态底线,应严禁城镇建设用地开发等对景观生态破坏的人类活动。中景观安全格局区面积 113 765.72 hm²,占景观安全格

局构建区域总面积的 18.88%,是包围在低安全水平区外的“缓冲区”,具有较为丰富的景观生态服务功能,生态系统干扰后恢复期较短、抗干扰能力较强,需限制城镇建设用地开发活动。高景观安全格局区面积 32 297.90 hm²,占景观安全格局构建区域总面积的 5.36%,保障了最丰富的景观生态服务功能;域内生态系统抗干扰能力最强,能长期保持稳定、健康,可宜时宜地的进行城镇建设用地开发。

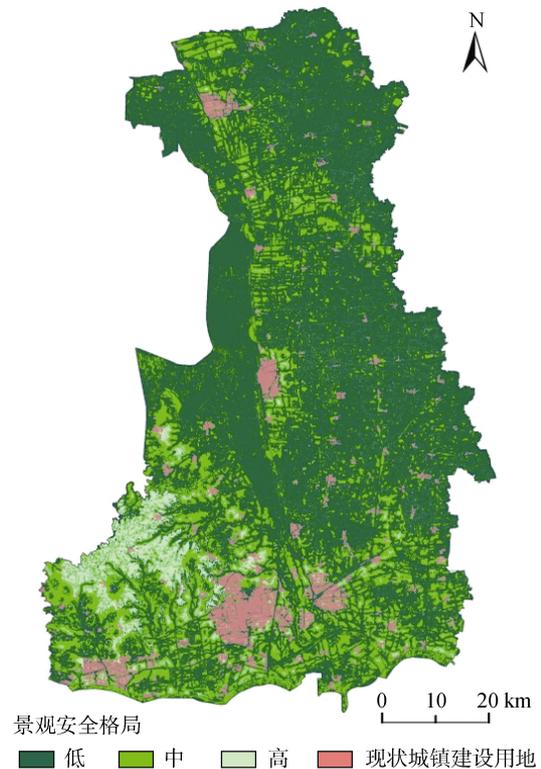


图 1 扬州市景观安全格局
Fig. 1 Pattern of landscape security in Yangzhou

3.2 研究区城镇建设用地扩张多情景模拟

根据输入数据与参数开展训练,迭代 30 次时,模拟精度达 74.38%,满足训练精度要求^[37]。迭代次数达 500 时,训练终止,输出各景观类型转换概率(图 2)。基于训练结果,输入不同情景条件下的元胞空间,得到研究区 2013—2020 年 3 种城镇建设用地模拟配置结果。

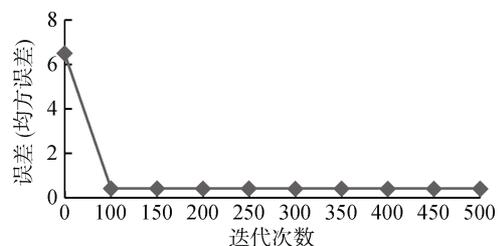


图 2 ANN-CA 模型训练收敛图
Fig. 2 Training convergence diagram of ANN-CA model

3.2.1 不同情景下新增占用其他景观规模分析
 惯性发展情景下(表 3), 2020 年模拟新增城镇建设用
 地以布局在低景观安全格局区为主, 占扩张总量的
 59.51%, 仅 31.55%、8.94% 位于中、高景观安全格
 局区域。城镇建设用地扩张占用其他景观类型面积由
 多到少依次为农村居民点、水域、交通用地、耕地、
 林地、草地、未利用地, 一定程度上推动了农村居民
 点整理, 但对研究区粮食安全造成极大威胁, 具有重
 要生态服务价值的景观被城镇建设用地大量占用, 对
 防洪安全、生物保护安全、游憩安全造成极大影响,
 不利于境内生态系统的维护与发展。

基本保障情景下, 2020 年模拟新增城镇建设用
 地以布局在中景观安全格局为主, 占扩张总量的
 68.64%, 与惯性发展情景相比, 高景观安全格局内
 的新增城镇建设用地占比增至 31.36%, 有利于减少人
 类活动对生态源地的影响。城镇建设用地扩张占用其
 他景观类型规模由多到少依次为农村居民点、耕地、

交通用地、水域、林地、草地、未利用地。城镇建设
 用地扩张占用水域比例为 12.34%, 比惯性发展情景
 减少了 25.68%, 林地被占用比例降低了 0.74%, 有
 利于减少人类活动对生态敏感区的影响。

最优保护情景下, 2020 年城镇建设用地扩张占
 用其他景观类型的规模由高到低依次为农村居民点、
 耕地、交通用地、水域、林地、未利用地、草地。与
 惯性发展情景、基本保障情景相比, 农村居民点依旧
 是城镇建设用地扩张的主要供给来源, 有利推进城镇
 化进程、统筹城乡发展。扩张占用耕地规模为总量的
 18.15%, 但集中于高安全格局区, 对粮食安全影响较
 小。与惯性发展情景、基本保障情景相比, 扩张占用
 水域比例降低了 30.91%、5.23%, 占用林地比例降低
 了 1.41%、0.67%, 可极大保障区域生态系统稳定发
 展。由于未利用地、草地面积相对较少, 交通运输用
 地分布较为均匀, 因此城镇建设用地扩张占用这 3
 种景观的规模在不同情景模拟中差距不大。

表 3 不同情景模拟下研究区 2020 年城镇建设用地扩张占用其他景观规模(hm²)
 Table 3 Scales of other landscapes occupied by expansion of urban construction land in different scenarios in 2020

景观分类	惯性发展情景				基本保障情景			最优保护情景
	景观安全格局分区规模			合计	景观安全格局分区规模		合计	景观安全格局分区规模
	高	中	低		中	高		高
耕地	22.43	76.87	95.22	194.52	514.38	211.87	726.25	743.74
林地	5.04	17.85	86.42	109.31	61.07	18.12	79.19	51.63
草地	3.41	14.18	15.11	32.7	50.31	9.32	59.63	13.93
水域	52.48	224.01	1281.3	1 557.79	456.57	48.99	505.56	291.35
农村居民点	375.67	797.89	437.47	1 611.03	1 386.43	819.26	2 205.69	2 335.72
交通用地	117.54	231.96	219.12	568.62	333.73	172.48	506.21	610.57
未利用地	6.63	6.92	10.26	23.81	10.41	4.81	15.22	50.81
合计	366.46	1 292.68	2 438.63	4 097.76	2 812.91	1 284.86	4 097.76	4 097.76

3.2.2 不同情景下的景观格局分析
 惯性发展情景下, 2020 年各景观指数与 2013 年相比(表 4), 景
 观多样性下降, 不利于生物多样性保护。城镇建设用
 地与农村居民点均表现为 NP 减少, LSI 降低, AI 增
 加, 有利于城镇经济发展和农村居民点整理。耕地
 NP 增加, LSI 变高, AI 下降, 不利于耕地机械化生
 产, 影响粮食产量。林地 NP 略有升高, LSI 略有增
 加, AI 降低, 极易导致生物多样性丧失。水域景观
 的 NP 增加, LSI 减小, AI 变化不大, 不利于区域水
 土保持与生物多样性保护。该情境下, 虽一定程度上
 有利于城乡社会经济发展, 但影响耕地生产功能, 破
 坏水域、林地等景观生态功能。

基本保障情景下, 2020 年各景观指数与 2013 年
 相比(表 4), SIEI 不变, 景观多样性未降低, 一定程

度上避免生物多样性的继续减少, 有利于境内物种繁
 衍生存与区域社会经济发展。城镇建设用地、农村居
 民点景观格局变化趋势与惯性发展情景一致, 但破碎
 度更低, 规则化更明显, 连通性更强, 更有利于城乡
 发展。耕地景观格局指数较 2013 年变化程度较小,
 能保障耕地粮食供给功能不继续降低。林地各景观格
 局指数变化趋势与惯性发展情景一致, 但不规则程度
 与连通性较后者增强, 生态服务功能破坏减小。水域
 不规则程度与连通性较惯性发展情景增强, 更有利于
 水域资源的保护。基本保障情境下, 一定程度上有利
 于城乡社会经济发展, 对非人工景观的破坏程度较惯
 性发展情景降低。

最优保护情景下, 2020 年各景观指数与 2013 年
 相比(表 4), SIEI 未有明显变化, 区域景观多样性得

到保护。城镇建设用地、农村居民点景观格局变化趋势较另外两种情景更明显,表现为破碎度最低,规则化最强,连通性最高,更有利于社会、经济发展。耕地 NP 降低,LSI 变小,AI 未减少,耕地景观的供给服务功能得到优化。林地 NP 降低,LSI 增加幅度较大,AI 降低幅度较小,保证林地景观生态服务功能

不持续减弱,有利于生境内部生态环境的改善与生物多样性的增加。水域 NP 减少,LSI 略有降低,AI 增加,各景观特征与惯性发展和基本保障情景相比,均有利于水域景观生态服务功能的维护。因此,较惯性发展情景和基本保障情景,最优保护情景下更有利于区域社会、经济及生态发展。

表 4 不同情景模拟下研究区 2020 年的景观格局指数
Table 4 Indexes of landscape patterns in different scenarios in 2020

景观格局指数	情景	景观水平	城镇建设用地	农村居民点	耕地	林地	水域
SIEI (辛普森多样性指数)	2013	0.82					
	惯性	0.81					
	基本	0.82					
	最优	0.82					
NP (斑块数量)	2013		13 390	2 908	14 282	838	14 965
	惯性		12 400	2 757	14 308	839	15 075
	基本		12 275	1 337	14 281	839	14 947
	最优		12 092	1 219	14 265	837	14 938
LSI (斑块形状指数)	2013	178.66		71.45	191.06	43.11	185.79
	惯性	173.45		65.84	191.17	43.13	184.43
	基本	172.78		57.28	191.09	43.14	185.27
	最优	171.88		55.48	190.64	43.20	185.75
AI (聚集度指数)	2013	79.44		81.49	86.84	82.10	89.22
	惯性	81.03		90.53	86.83	81.98	89.23
	基本	81.04		92.03	86.83	82.07	89.24
	最优	81.31		92.17	86.84	82.09	89.29

惯性发展情景下,城镇建设用地扩张不受景观安全格局约束,可拓展空间充足,但对生态安全造成严重的不利影响;应适当规划生态与自然保护区,合理布局防洪、防涝等基础设施,严格划定永久性基本农田,严禁建设占用;优先满足第三产业、对生态环境扰动较小的第二产业用地需求,增强土地集约化水平,避免城镇建设用地扩张对生态环境造成不可逆影响。基本保障情景下,城镇建设用地扩张受生态底线约束,可拓展空间有限,保障了生态系统的基本安全;应充分发挥景观安全格局的生态底线功能,融合粮食安全、防洪、生物保护、游憩景观安全格局的生态隔离作用,引导城镇建设用地合理开发与布局;加快经济结构转型,降低对城镇建设用地规模经济的依赖,减少对生态系统的破坏。最优保护情景下,城镇建设用地扩张以生态安全为优先,生态环境得到较好保护,但城镇建设用地可拓展空间较小,占用耕地规模较高;可通过盘活存量建设用地、增加单位土地投入、升级科学技术水平等方式提高土地集约利用水平,同时依托“占补平衡”“增减挂钩”等政策,加强耕地保护力度,避免粮食安全受损。对比分析表明,最优

保护情景城镇建设用地分布、占用其他景观规模、区域景观格局变化等均优于基本保障情景,而惯性发展情景最差。因此,政府应充分考虑本区域内的社会、经济、生态条件,避免采用惯性发展情景,选择性实施基本保障情景,尽可能实现最优保护情景。

4 结论

本文以扬州市为例,以 2005 年、2013 年土地利用变更数据为训练数据,基于景观安全格局划定不同情景的元胞空间,结合供求理论挑选城镇建设用地扩张影响因子,借助 ANN-CA 模型进行多情景的城镇建设用地扩张模拟,并利用城镇建设用地转移矩阵与景观格局指数分析 2013—2020 年的模拟结果,研究结果表明:

1) 不同情景下的城镇建设用地扩张占用其他景观规模分析结果表明: 惯性发展情景下,模拟新增城镇建设用地以布局在低景观安全格局区为主,占用农村居民点占新增总量的最多,占用耕地、水域、林地较高,对研究区景观生态安全造成极大危害; 基本保障情景下,模拟新增城镇建设用地以布局在中景

观安全格局为主,占用水域、林地规模比惯性发展情景减少了 25.68% 与 0.74%,有利于减少人类活动对生态敏感区的影响; 最优保护情景与惯性发展情景、基本保障情景相比,占用水域比例较惯性发展情景、基本保障情景降低了 30.91%、5.23%,占用林地比例降低了 1.41%、0.67%,极大保障了区域生态系统稳定发展。

2) 不同情景下 2020 年的区域景观格局与 2013 年相比存在差异: 惯性发展情景下,景观多样性下降,城镇建设用地、农村居民点景观格局有利于促进城镇化发展,耕地景观格局变化不利于耕地机械化生产,林地、水域的景观格局变化影响其生态服务功能;

基本保障情景下,景观多样性未降低,一定程度上有利于城乡社会经济发展,对非人工景观的破坏程度较惯性发展情景降低; 最优保护情景下,景观多样性未降低,较另外两种情景,更有利于区域社会、经济及生态发展。

3) 惯性发展情景下,应当规划生态与自然保护区,合理布局防洪、防涝等基础设施,严格划定永久性基本农田,严禁建设占用; 优先满足第三产业及对生态环境扰动较小的第二产业用地需求,增强土地集约化水平,避免城镇建设用地扩张对生态环境造成不可逆影响。基本保障情景下,应充分发挥景观安全格局的生态底线功能,融合防洪、水土保持、生物保护、游憩景观安全格局的生态隔离作用,引导城镇建设用地合理开发与布局; 加快经济结构转型,降低对城镇建设用地规模经济的依赖,减少对生态系统的破坏。最优保护情景下,可通过盘活存量建设用地挖潜、增加单位土地投入、升级科学技术水平等方式提高土地集约利用水平,同时加强耕地保护力度,避免粮食安全受损。政府应充分考虑本区域内的社会、经济、生态条件,避免采用惯性发展情景,选择性实施基本保障情景,尽可能实现最优保护情景。

参考文献:

- [1] 杨杨, 吴次芳, 韦仕川, 等. 中国建设用地扩展的空间动态演变格局——基于 EBI 和 EBII 的研究[J]. 中国土地科学, 2008, 22(1): 23–31
- [2] 翟腾腾, 郭杰, 欧名豪. 基于相对资源承载力的江苏省建设用地管制分区研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(2): 69–75
- [3] Karen C S, Güneralp B, Hutyra L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools[J]. PNAS, 2012, 109(40): 16083–16088
- [4] 陈伟强, 潘元庆, 马月红, 等. 基于约束性 CA 模型的城市开发边界划定方法[J]. 农业工程学报, 2017, 33(4): 278–284
- [5] 吴巍, 周生路, 魏也华, 等. 中心城区城市增长的情景模拟与空间格局演化——以福建省泉州市为例[J]. 地理研究, 2013, 32(11): 2041–2054
- [6] 马世发, 艾彬. 基于地理模型与优化的城市扩张与生态保护二元空间协调优化[J]. 生态学报, 2015, 35(17): 5874–5883
- [7] 王思易, 欧名豪. 基于景观安全格局的建设用地管制分区[J]. 生态学报, 2013, 33(14): 4425–4435
- [8] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 761–768
- [9] 黎晓亚, 马克明, 傅伯杰, 等. 区域生态安全格局: 设计原则与方法[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 1055–1062
- [10] 俞孔坚, 王思思, 李迪华, 等. 北京城市扩张的生态底线——基本生态系统服务及其安全格局[J]. 城市规划, 2010(2): 19–24
- [11] 俞孔坚, 王思思, 李迪华, 等. 北京市生态安全格局及城市增长远景[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1189–1204
- [12] 俞孔坚, 李迪华, 韩西丽, 等. 新农村建设规划与城市扩张的景观安全格局途径——以马岗村为例[J]. 城市规划学刊, 2006(5): 38–45
- [13] 张利, 周亚鹏, 门明新, 等. 基于不同种类生态安全的土地利用情景模拟[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 308–316
- [14] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2011
- [15] 高玉宏, 张丽娟, 李文亮, 等. 基于空间模型和 CA 的城市用地扩展模拟研究——以大庆市为例[J]. 地理科学, 2010, 16(5): 723–727
- [16] 张翔, 邓志民, 李丹, 等. 汉江流域土地利用/覆被变化的水文效应模拟研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(10): 1449–1455
- [17] 黎夏, 叶嘉安. 基于神经网络的单元自动机 CA 及真实和优化的城市模拟[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 159–166
- [18] 范树平, 刘友兆, 程从坤, 等. 巢湖流域土地利用效益测度与综合判定[J]. 土壤, 2017, 49(4): 838–845
- [19] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911–919
- [20] 薛东前, 王传胜. 城市群演化的空间过程及土地利用优化配置[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 95–102
- [21] 吕晓, 黄贤金, 钟太洋, 等. 土地利用规划对建设用地扩张的管控效果分析——基于一致性与有效性的复合视角[J]. 自然资源学报, 2015, 30(2): 177–187
- [22] 孙君, 奚赛英, 尤迪, 等. 基于 ArcGIS 的洪水淹没分析与三维模拟[J]. 城市地质, 2012, 7(3): 31–33

- [23] 胡望舒, 王思思. 基于焦点物种的北京市生物保护安全格局规划[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4266-4276
- [24] 俞孔坚, 乔青, 李迪华, 等. 基于景观安全格局分析的生态用地研究——以北京市东三乡为例[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1932-1939
- [25] 黄京鸿, 刁承泰. 重庆市城市用地供需状况研究[J]. 经济地理, 2003, 23(4): 504-507
- [26] 刘书楷, 曲福田. 土地经济学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 30-39
- [27] 彭博, 石黄磊. 武汉市工业用地生态适宜性评价[J]. 中国土地科学, 2012, 26(2): 74-78
- [28] 姜海, 曲福田. 县域建设用地集约水平影响因素计量分析——以江苏省为例[J]. 中国土地科学, 2008, 22(8): 6-12
- [29] 梁华, 马小刚. 土地供给制度、经济增长与宏观调控——基于文献研究[J]. 生态经济, 2010(1): 20-24
- [30] 孔伟, 郭杰, 欧名豪. 不同经济发展水平下的建设用地集约利用及区域差别化管控[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(4): 100-106
- [31] 马建华, 李灿, 陈云增. 土地利用与经济增长对城市土壤重金属污染的影响——以开封市为例[J]. 土壤学报, 2011, 48(4): 743-750
- [32] 刘琼, 佺伶俐, 欧名豪, 等. 基于脱钩情景的中国建设用地总量管控目标分析[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2014(2): 80-85
- [33] 黎夏, 叶嘉安. 约束性单元自动演化 CA 模型及可持续城市发展形态的模拟[J]. 地理学报, 1999, 54(4): 289-298
- [34] 高金龙, 陈江龙, 袁丰, 等. 南京市建设用地区域扩张模式、功能演化与机理[J]. 地理研究, 2014, 33(10): 1892-1907
- [35] 王伟武, 金建伟, 肖作鹏, 等. 近 18 年来杭州城市用地扩展特征及其驱动机制[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 685-695
- [36] 赵婷婷, 张凤荣, 安萍莉, 等. 北京市顺义区建设用地扩展的空间分异[J]. 资源科学, 2008, 30(10): 1517-1524
- [37] 黎夏. 地理模拟系统: 元胞自动机与多智能体[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [38] 黎夏. 智能式 GIS 与空间优化[M]. 北京: 科学出版社, 2010
- [39] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007
- [40] 黄木易, 岳文泽, 等. 杭州市区土地利用景观格局演变及驱动力分析[J]. 土壤, 2012, 44(2): 326-331
- [41] 邬建国. 景观生态学——概念与理论[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42-52
- [42] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 等. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5521-5531
- [43] 白元, 徐海量, 刘新华, 等. 塔里木河干流耕地动态变化及其景观格局[J]. 土壤学报, 2013, 50(3): 492-500
- [44] 禹朴家, 徐海量, 乔木, 等. 玛纳斯河流域土壤类型空间分布格局分析[J]. 土壤学报, 2010, 47(6): 1050-1059
- [45] 张乐, 王观湧, 霍习良, 等. 基于适宜粒度的曹妃甸新区土地利用景观格局分析[J]. 土壤, 2014, 46(6): 1149-1156
- [46] 刘世梁, 杨珏婕, 安晨, 等. 基于景观连接度的土地整理生态效应评价[J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 689-695

Multi-scenario Simulation of Urban Construction Land Expansion Based on Landscape Security Pattern —— A Case of Yangzhou City

MENG Lin¹, GUO Jie^{1,2,3}, OU Minghao^{1,2,3*}, Li Kunpeng⁴

(1 College of Land Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Center of Urban-rural Joint Development and Land Management Innovation, Nanjing 210095, China; 3 State and Local Joint Engineering Research Center of Rural Land Resources Utilization and Consolidation, Nanjing 210095, China; 4 Shunjing Community Committee of Daming Lake Street, Jinan 250011, China)

Abstract: Multi-scenario simulating the expansion of urban construction land is beneficial to the realization of the optimal allocation of land resources and the sustainable development of the region. Taking Yangzhou City as an example, taking the land use change datum of 2005 and 2013 year as training datum, this paper simulates the expansion trend of urban construction land based on ANN-CA model, analyzes the advantages and disadvantages of each simulated scenario by using land transfer matrix for urban construction and landscape pattern index of 2013—2020 year. The results indicate: 1) The scales of other landscape occupied by the expansion of urban construction are different in different scenarios, but rural settlement is occupied most in each scenario. In the inertial development scenario, the new urban construction land is mainly clustered in the region with low landscape security pattern, and occupies more arable land, waters and woodland. In the basic security scenario, the new urban construction land is mainly distributed in the region with middle landscape security pattern. Compared to the inertial development scenario, it occupies more arable land but less waters and woodland. The optimal protection scenario occupies more arable land but less waters and woodland compared with the inertial development scenario and the basic security scenario, but mainly concentrates in the region with high landscape security pattern. 2) Landscape patterns are different in the three scenarios. In the inertial development scenario, landscape pattern change is conducive to the development of urbanization, but adverse to the mechanized production of arable land and the ecological service functions of woodland and waters. In the basic security scenario, landscape pattern change is beneficial to the social and economic development of urban and rural areas to a certain extent, and damages less to waters and woodland than the inertial development scenario. In the optimal protection scenario, landscape pattern change is more conducive to the regional social, economic and ecological development. 3) In the inertial development scenario, the ecological infrastructure should be planned properly and the permanent basic farmland should be delimited strictly. In the basic security scenario, the government should give full play to the ecological bottom line function of the landscape security pattern and guide the rational development and layout of the urban construction land. In optimal protection scenario, the government should improve the level of intensive land use by exploiting the stock construction land and so on.

Key words: Urban construction land; Landscape security pattern; ANN-CA model; Multi-scenario simulation