引文格式：郭冯利,郎紫琦,朱梦瑶,等. 江苏省“三生空间”时空演变与多情景模拟[J]. 地理空间信息, 2024, 22(11): 1-5. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.11.001

江苏省“三生空间”时空演变与多情景模拟

郭冯利[1]，郎紫琦[2,3]，朱梦瑶[2]，董梦颖[2]，朱　杰[2,3*]
（1. 江苏省测绘工程院，江苏 南京 210013；2. 南京林业大学 土木工程学院，江苏 南京 210037；
3. 实景地理环境安徽省重点实验室，安徽 滁州 239004）

摘　要：从时空角度分析了江苏省“三生空间”的演变特征；利用FLUS模型在自然发展、耕地保护和生态保护3种情景下模拟预测了2025年江苏省“三生空间”的空间格局。结果表明：①2005—2015年江苏省农业生产空间面积呈减少趋势，80%的农业生产空间转移为生活空间，城镇生活空间和农村生活空间呈明显扩张趋势；②与2015年相比，在自然发展情景下农业生产空间持续减少，其他空间面积持续增加，城镇生活空间面积主要增长区域与江苏省建设用地发展较一致，在耕地保护情景下农业生产空间面积的增长主要来源于农村生活空间，呈连片扩张态势，在生态保护情景下水域生态空间环湖沿河发展，主要转入源于农业生产空间。

关键词：“三生空间”；时空演变；多情景模拟；江苏省
中图分类号：TU982　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）11-0001-05

Spatio-temporal Evolution and Multi-scenario Simulation of the “Production-Living-Ecological Space” in Jiangsu Province

GUO Fengli[1], LANG Ziqi[2,3], ZHU Mengyao[2], DONG Mengyin[2], ZHU Jie[2,3]
(1. Jiangsu Province Surveying & Mapping Engineering Institute, Nanjing 210013, China;
2. College of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;
3. Anhui Province Key Laboratory of Physical Geographic Environment, Chuzhou 239004, China)

Abstract: In this paper, we analyzed the evolutionary characteristics of the “Production-Living-Ecological Space” in Jiangsu Province from spatio-temporal perspective. We used FLUS model to simulate and predict the land-use spatial patterns of the “Production-Living-Ecological Space” in Jiangsu Province in three scenarios, such as natural development, farmland protection and ecological conservation, by the year 2025. The results showed that ①from 2005 to 2015, the agricultural production space in Jiangsu Province exhibited a decreasing trend, while urban living space and rural living space showed significant expansion. ②Under the scenario of natural development, the agricultural production space in Jiangsu Province continued to decrease, while other land-use types exhibited expansion. Under the farmland protection scenario, the agricultural production space experienced significant growth, mainly occurring in rural living space. Under the ecological conservation scenario, the water ecological space expanded, particularly along water systems and lakes.

Key words: the “Production-Living-Ecological Space”, spatio-temporal evolution, multi-scenario simulation, Jiangsu Province

“三生空间”作为一种新的土地利用分类体系，其目的是优化土地利用、主导功能空间布局、促进人地关系的可持续发展。目前基于“三生空间”的土地利用研究主要聚焦于“三生空间”适宜性与承载力评价[1]、识别与划定[2]以及空间演变[3]等方面。“三生空间”适宜性与承载力评价是在其分类的基础上通过构建综合指标对研究区内“三生空间”环境质量、土地利用空间结构、资源环境承载力等进行定量测度。虽然现阶段缺乏相对统一的“三生空间”评价指标体系，但相关研究为国土空间双评价工作提供了有益探索。“三生空间”的界定则是借助遥感图像、兴趣点、街景图像和土地利用数据，采用阈值分析[4]、综合评价[5]、机器学习[6]等方法实现了从城市群、省域等宏观尺度到市域、县域等微观尺度的应用。上述研究均从静态视角探讨了“三生空间”的结构与布局，黎夏[7]等指出科学规划“三生空间”就必须要理解国土空间的演变机理，并能实现预测，因此从地理时空角度分析人地关系是研究“三生空间”的基础。焦庚

收稿日期：2023-07-02。
项目来源：实景地理环境安徽省重点实验室开放基金资助项目（2022PGE006）。
第一作者简介：郭冯利（1982—），本科，高级工程师，主要研究方向为地理国情监测，E-mail：120521712@qq.com。
通信作者：朱杰（1989—），博士，讲师，主要研究方向为城市空间智能建模与国土空间优化，E-mail：chu_je@163.com。

英[8]等结合景观格局指数和空间分析等手段揭示了县域“三生空间”的演变特征；张斯琦[9]运用土地利用分布和变化指数等理论与方法对长三角城市群“三生空间”用地时空演变进行了多尺度分析；孔冬艳[10]等采用生态环境质量指数和土地利用转型的生态贡献率分析了全国“三生空间”生态效应的演变特征；袁雪松[11]等通过土地利用演化模型对区域“三生空间”进行了模拟预测，以期为区域经济环境协调发展和国土空间格局优化提供参考。

近年来学者们多聚焦于构建“三生空间”合理布局，在空间识别、时空演变等方面已取得了较多有价值的成果。由于社会经济和自然地理因素与“三生空间”变化呈现出非线性的复杂关系，“三生空间”时空演变规律和驱动作用关系仍需深入研究。另外，现有宏观尺度的研究多集中于流域和城市群，对于省域尺度的“三生空间”格局优化模拟较少。江苏省位于我国大陆东部沿海地区的中心地带，是我国最发达的省份之一。在国家主体功能区划和新型城镇化发展战略下，其城乡间土地利用生产、生活和生态功能格局变化剧烈[12]。为响应“两个率先”、推动城乡融合、实现乡村振兴、引领区域发展的要求，以及应对人多地少、资源数量不足和发展不平衡不充分的严峻形势，亟需重组“三生空间”发展秩序，优化国土空间[13]。本文以江苏省为研究区，选取2005年、2010年、2015年3期土地利用数据，按照“三生空间”分类体系进行分类；再利用转移矩阵、土地利用动态度等方法详细分析了2005—2015年江苏省“三生空间”用地的时空演变情况；最后以第14个“五年规划”目标（2025年）为预测期，利用FLUS模型模拟预测了2025年江苏省在自然发展、耕地保护和生态保护情景下的“三生空间”空间分布状况，以探究未来江苏省“三生空间”用地变化规律，为江苏省国土空间格局优化提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

江苏省位于长江三角洲，属于我国大陆东部沿海地区，总面积为10.72万km^2。截至2022年末，江苏省城镇化率达到74.4%，是“一带一路”倡议建设、长江经济带发展、长三角区域一体化发展等国家重大区域战略交汇区域。展望“十四五”规划，江苏省坚持实施主体功能区战略，未来将形成城市化地区、农产品主产区、生态功能区三大空间格局，不断推进空间治理向功能完善和效率提升转变。

1.2 数据来源与预处理

本文采用的数据主要包括江苏省土地利用数据和土地利用变化驱动因子数据，其中2005年、2010年、2015年3期土地利用数据（30 m分辨率）来源于中国科学院地理科学与资源研究所（http://www.resdc.cn），总体精度为89%，可信度高。本文根据GB/T 21010–2017《土地利用现状分类》中各类用地的主导功能，遵循主导功能和实用性的原则，同时参考前人的研究成果[14]，构建了江苏省“三生空间”分类体系，包括3个一级分类和7个二级分类（表1）。

表1 江苏省“三生空间”用地分类体系

一级分类	二级分类	二级分类编号与名称
生产空间	农业生产空间	11–12：水田、旱地
	工矿生产空间	53：其他建设用地
生态空间	绿被生态空间	21–24：有林地、灌木林、疏林地、其他林地 31–33：高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地
	水域生态空间	41–46：河渠、湖泊、水库坑塘、永久性冰川积雪、滩涂、滩地
	其他生态空间	61–67：沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石质地、其他
生活空间	城镇生活空间	51：城镇用地
	农村生活空间	52：农村居民点

从自然、社会经济与区位等维度，本文选取高程、坡度、人口、GDP、距城镇中心距离等12个与土地变化相关的驱动因子（表2），以探究江苏省“三生空间”用地演变规律；再利用ArcGIS软件对上述驱动因子进行归一化处理，统一处理为30 m分辨率的栅格数据。

表2 2010年各项数据来源

数据类型	数据名称	数据来源
自然因素	高程	资源环境数据云平台
	坡度	
社会经济	GDP	资源环境数据云平台
	人口	
	夜间灯光	NOAA DMSP（https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp.html）
区位因素	距城镇中心距离	资源环境数据云平台
	距城市中心距离	
	距湖泊水面距离	
	距城镇主干道距离	
	距农村道路距离	OpenStreetMap（https://www.openstreetmap.org/）
	距铁路距离	
	距公路距离	

2　研究方法

2.1　“三生空间”用地数量变化分析

土地利用动态度可反映土地利用的动态变化速度[15]，表达式为：

$$LC=\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta LU_{i=j}}{2\sum_{i=1}^{n}LU_i}\times\frac{1}{T}\times 100\% \quad (1)$$

$$P=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times 100\% \quad (2)$$

式中，LC 为综合土地利用动态度；LU_i 为研究初期第 i 类“三生空间”用地的面积；$\Delta LU_{i=j}$ 为研究期第 i 类“三生空间”用地中变化为非 i 类“三生空间”用地面积的绝对值；P 为单一“三生空间”用地的土地利用动态度；U_a 、U_b 分别为研究初期和末期某种“三生空间”用地的面积；T 为研究时段。

2.2　“三生空间”用地类型变化分析

土地利用转移矩阵能反映研究期内“三生空间”用地的转变方向[16]，表达式为：

$$\boldsymbol{S}=\left|\begin{bmatrix}S_{11} & \cdots & S_{1n}\\ \vdots & & \vdots\\ S_{m1} & \cdots & S_{mn}\end{bmatrix}\right| \quad (3)$$

式中，S_{mn} 为区域内第 m 种和第 n 种土地利用类型之间的相互转换数量。

对2005年和2015年江苏省“三生空间”用地矢量数据进行空间叠加，生成“三生空间”用地转移矩阵。

2.3　“三生空间”时空模拟

FLUS是一种在人类活动和自然影响背景下模拟土地利用变化和未来土地利用情景的模型[17]。该模型的原理被元胞自动机（CA）所采用。模型采用神经网络（ANN）算法可获得研究区一段时间内的土地利用数据和各种驱动因素，进而计算各地类在每个像元上出现的概率。此外，在土地利用变化建模过程中FLUS模型提出了一种基于轮盘赌的惯性竞争机制，通过自然影响与人类活动的相互作用，有效解决了不同地类转换的不确定性和复杂性，使模型能够更准确地模拟。本文基于2005年和2015年江苏省土地利用数据，利用FLUS模型预测2025年“三生空间”空间格局，首先根据驱动因子的空间分布特征，利用2005年“三生空间”二级分类数据对栅格单元的地类归属进行分配迭代，实现江苏省2015年“三生空间”的时空模拟；再将模拟结果与2015年实际土地利用情况进行对比，以验证FLUS模型进行城市扩张模拟的可行性；然后以2015年“三生空间”二级分类数据为起始数据，将训练数据所获得的转换规则应用于2015—2025年的预测中；最后获得2025年江苏省“三生空间”的空间格局。

3　研究结果与分析

3.1“三生空间”用地时空演变分析

1）2005—2015年江苏省“三生空间”用地空间结构与动态度分析。2005—2015年江苏省“三生空间”面积见图1，各类空间的动态度见表3，可以看出，城镇生活空间面积的扩张趋势最显著，工矿生产空间次之，农村生活空间面积增加了972 km²，动态度为0.91%；随着江苏省城市化和工业化水平的不断

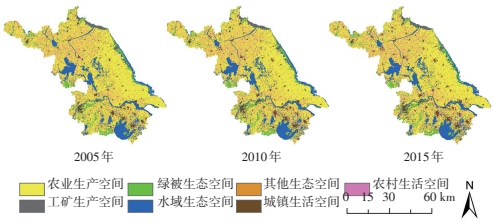


图1　2005—2015年江苏省“三生空间”分布格局

审图号：GS(2019)1822

表3　2005—2015年江苏省“三生空间”数量规模变化

空间类型	2005年		2010年		2015年		2005—2015年	
	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例 /%	面积/km²	比例/%	面积变化量/km²	动态度/%
A	68 894	66.55	67 343	65.17	66 340	64.19	−2 554	−0.37
I	1 440	1.39	1 745	1.69	1 899	1.84	459	3.18
U	3 325	3.21	4 026	3.90	4 615	4.47	1 290	3.87
R	10 591	10.23	11 171	10.81	11 563	11.19	972	0.91
G	4 831	4.67	4 760	4.61	4 838	4.68	7	0.01
W	14 426	13.93	14 272	13.8	14 057	13.60	−369	−0.25
O	18	0.02	17	0.02	31	0.03	13	7.22

注：A为农业生产空间；I为工矿生产空间；G为绿被生态空间；W为水域生态空间；O为其他生态空间；U为城镇生活空间；R为农村生活空间。

提高，农业生产空间面积减少了2 554 km²，动态度为-0.37%，水域生态空间面积减少了169 km²，动态度为-0.25%。总体而言，研究期内江苏省城镇生活空间的扩张趋势最显著，苏南地区是主要扩张区域；农村生活空间表现出同样明显的扩展趋势，农业生产空间被生活空间所挤占；生活空间的分布密度进一步提高，从零散分布状态转变为成片发展状态；生态空间变化不明显。

2）2005—2015年江苏省“三生空间”用地类型变化分析。根据式（3）计算得到两个时期内的“三生空间”转移矩阵（图2），可以看出，2005—2010年国土空间演变特征表现为农业生产空间转移为农村生活空间、城镇生活空间、水域生态空间和工矿生产空间，转出面积分别为1 124.51 km²、730.811 km²、491.856 km²、267.25 km²；2010—2015年国土空间演变特征表现为农业生产空间转移为城镇生活空间和农村生活空间，转出面积分别为569.46 km²、510.52 km²，农业生产空间与生态空间出现了内部转换的现象。总体而言，80%的农业生产空间面积转移为生活空间，城镇生活空间和农村生活空间呈明显扩张趋势。

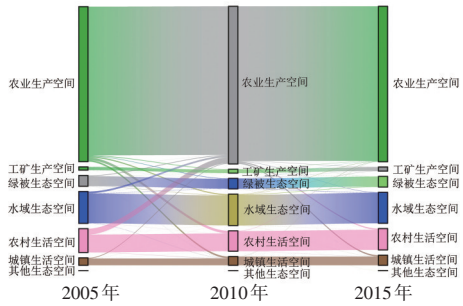


图2 2005—2015年江苏省国土空间变化桑基图

3.2 江苏省“三生空间”空间模拟结果分析

1）FLUS模型参数设置。在神经网络适宜性概率计算模板中，利用ANN Training设置训练样本模式和比例，采用随机取样的方式，经过多次试验发现，当隐藏层数量为12时可实现均方根误差最小，进而计算得到各地类在各像元的适宜性概率；然后基于CA模块模拟未来土地利用变化，涉及目标年土地利用需求量、转换成本矩阵和邻域权重等参数。在不同的发展情景下各类空间转换的成本矩阵及其邻域因子各不相同，具体参数设置见表4、5。自然发展情景下的成本矩阵和邻域因子主要根据2005—2015年江苏省土地利用类型转移矩阵和动态度的实际情况设置；耕地保护情景下的成本矩阵和邻域因子需在防止减少耕地面积的前提下，适当限制建设用地的扩张速度，提升农业生产空间的邻域权重，减少其转移为其他类型空间的可能性，也可适当降低工矿生产空间和城镇与农村生活空间的扩张能力；生态保护情景下的参数设置与之类似，适当提升绿被生态空间和水域生态空间的邻域权重，减少其转移为其他类型空间的概率。

表4 2015—2025年不同情景下“三生空间”邻域权重

情景类型	A	I	G	W	O	U	R
自然发展	0.3	1	0.4	0.5	1	0.8	0.6
耕地保护	1	0.8	0.4	0.5	1	0.6	0.5
生态保护	0.3	0.8	0.6	0.5	1	1	1

表5 2015—2025年不同情景下“三生空间”转换成本矩阵

	自然发展情景							耕地保护情景							生态保护情景						
	A	I	G	W	O	U	R	A	I	G	W	O	U	R	A	I	G	W	O	U	R
A	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
I	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
U	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
R	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0

注：1代表允许转换；0代表不允许转换。

2）精度检验。为保证2025年江苏省“三生空间”的模拟精度，利用2005年“三生空间”数据模拟2015年“三生空间”的格局变化，并将模拟结果与实际值进行叠加，计算Kappa系数和总体精度。结果表明，2015年江苏省模拟的Kappa系数与总体精度分别为0.880和0.938，说明模拟效果较好，因此可利用FLUS模型与模型中设置的相关参数对江苏省2025年“三生空间”格局进行模拟。

3）模拟结果分析。不同情景下的模拟结果见表6，2015—2025年在自然发展情景下江苏省农业生产空间持续减少，面积约减少了2 647.10 km²，其他空间类型面积持续增加；在耕地保护情景下通过加强农用地保护、坚守耕地保护红线等措施，江苏省农业生产空间面积增加了3 660.79 km²，其主要来源于农村生活空间（减少了2 930.11 km²），这些地区与耕地结合紧密，易被开垦为耕地；在生态保护情景下江苏省绿被生态空间和水域生态空间分别增加了6.32 km²和874.61 km²，表现为沿水系和湖泊发展。

对模拟结果进行可视化（图3），根据《江苏省国土规划（2021—2035年）》的公示文件，2015—2025年自然发展情境下城镇生活空间面积的主要增长区域包括：①徐州都市圈，即徐州市区、宿迁市区、邳州市和沭阳县，这些地区经济发展水平高、地势平缓、便于开发和利用，发展方向与推进徐州都市圈同城化发展战略相一致；②苏中的扬泰通区域，该区域与宁启

表6　2015—2025年不同情景下“三生空间”面积模拟结果

情景类型	时期	A	I	G	W	O	U	R
自然发展	2015年	68 984.7	1 856.9	4 696.3	13 765.5	27.5	4 491.9	9 454.5
	2025年	66 310.6	2 198.6	4 730.5	14 059.5	37.2	5 445.8	10 495.2
	变化	−2 647.1	341.6	34.2	294.0	9.7	954.0	1 040.7
耕地保护	2015年	68 986.9	18 567.0	4 698.7	13 769.5	27.5	4 491.9	9 454.5
	2025年	72 647.7	1 853.0	4 260.3	13 522.1	21.8	4 456.7	6 524.4
	变化	3 660.8	−4.1	−438.3	−247.4	−5.7	−35.2	−2 930.1
生态保护	2015年	68 980.8	1 857.0	4 698.9	13 763.1	27.5	4 491.9	9 454.6
	2025年	66 322.9	1 957.4	4 705.2	14 637.7	21.8	5 105.5	10 523.6
	变化	−2 658	100.5	6.3	874.6	−5.7	613.6	1 069.0

铁路结合紧密，易满足城市扩张和经济发展需求；③苏南的沿江区域，该区域经济发达，逐步形成了“临港产业集聚区、沿江现代物流产业带”产业格局。耕地保护情境下农业生产空间面积的主要增长区域分布在苏北的连云港、宿迁以及淮安地区，该区域位于徐淮农业区内，城镇化水平较低，农村生活空间面积比重较大且往往与耕地连片分布，可满足农业生产空间的增加。生态保护情景下水域生态空间面积的增长区域主要分布在淮河沿线、环洪泽湖生态湖区以及环太湖生态创新湖区，表明退圩还湖、生态修复使部分生态绿核区域得到了保护；总体来讲，该情景下的空间变化主要侵占了部分区域的农业生产空间，考虑到生态保护和耕地保护情景同为规划方式，其土地需求量相同，这不利于社会经济的可持续发展。

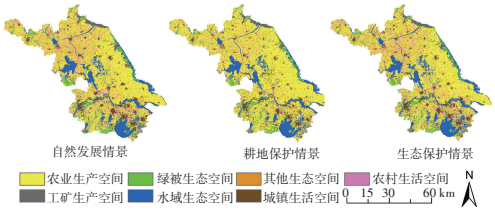


图3　2025年江苏省不同情景“三生空间”模拟结果图

审图号：GS(2019)1822

4　结　语

本文从时空角度分析了江苏省“三生空间”的演变特征，并利用FLUS模型预测了在自然发展、耕地保护和生态保护情景下江苏省2025年“三生空间”的空间格局变化。

1）2005—2015年江苏省城镇生活空间和农村生活空间呈显著扩张趋势；生活空间的分布密度进一步提高，从零散分布状态转变为成片发展状态；生态用地空间变化不明显；农业生产空间逐渐被生活空间所挤占。

2）不同发展情景下模拟得到的江苏省“三生空间”用地格局不同。与2015年相比，在自然发展情景下农业生产空间持续减少，城镇生活空间面积的主要增长区域与江苏省建设用地发展较一致；在耕地保护情景下农业生产空间面积的增长主要来源于农村生活空间，主要变化区域在徐淮农业区内，呈连片扩张态势；在生态保护情景下水域生态空间环湖沿河发展，主要来源于农业生产空间。

本文采用的“三生空间”分类体系仅根据用地意图和参考前人的研究成果，如何构建量化指标体系以及更加科学、合理、精确的区域“三生空间”分类体系是未来研究的重点方向。此外，本文综合考虑了自然和社会经济等12种驱动因子，由于研究区范围较大和数据的可获取性，今后需结合更多驱动因子，设置更加明确合理的情景，对于研究区实现生产空间集约高效、生活空间宜居适度和生态空间山清水秀具有重要的现实意义。

参考文献

[1] 付晶莹,郜强,江东,等. 黑土保护与粮食安全背景下齐齐哈尔市国土空间优化调控路径[J]. 地理学报,2022,77(7):1 662-1 680

[2] 韩栊桃,石杰锋,吴金华,等. 基于POI数据及四叉树思想的“三生空间”识别方法[J]. 地球信息科学学报,2022,24(6):1 107-1 119

[3] 张豪,冯长春,郭永沛. 城市边缘区“三生”空间格局演变与驱动因素分析:以北京市朝阳区为例[J]. 北京大学学报(自然科学版),2023,59(3):478-488

[4] 李伊黎,程严,付振华. 广东省“三生空间”格局演化特征分析[J]. 地理空间信息,2022,20(12):104-109

[5] 夏敏,冯新惠,夏俊林,等. 综合土地多功能与适宜性的南京市溧水区“三生”空间划定[J]. 农业工程学报,2021,37(16):242-250

[6] 万江琴,费腾. 基于街景图像的“三生空间”识别方法研究[J]. 地球信息科学学报,2023,25(4):838-851

[7] 黎夏,马世发. “三区三线”智能识别软件:地理模拟与优化[J]. 中国土地,2018(4):24-27

（下转第31页）