引文格式：陈年松,徐贵阳. 利用转移矩阵模型研究江苏省长江岸线变化[J]. 地理空间信息, 2024, 22(5): 74-76. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.05.015

利用转移矩阵模型研究江苏省长江岸线变化

陈年松[1]，徐贵阳[1*]
（1. 江苏省测绘工程院，江苏 南京 210013）

摘　要：开展长江生态环境监测，推动长江经济带发展是关系国家发展全局的重大战略，是加快推进生态文明建设的客观需要。以2015—2021年江苏省沿江2 km岸线范围内土地利用数据为研究对象，利用转移矩阵模型计算研究区域内各时间节点的转移矩阵表，分析生态、生活和生产空间用地的转入转出以及增减情况；再采用高斯—赛德尔迭代法绘制三生空间流转的桑基图，对江苏省长江岸线变化进行定量分析，为长江经济带（江苏段）的生态监测提供技术支持。

关键词：三生空间；长江岸线；转移矩阵模型；土地利用；桑基图
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）05-0074-03

Research on the Yangtze River Shoreline Changes in Jiangsu Province Using Transfer Matrix Model

CHEN Niansong[1], XU Guiyang[1]
(1. Jiangsu Province Surveying and Mapping Engineering Institute, Nanjing 210013, China)

Abstract: Carrying out the ecological environment monitoring of the Yangtze River and promoting the development of the Yangtze River Economic Belt is a major strategy related to the overall development of the country and an objective need to accelerate the construction of ecological civilization. Taking the land-use data within two kilometers of shoreline along the Yangtze River in Jiangsu Province from 2015 to 2021 as the research object, we used the transfer matrix model to calculate the transfer matrix tables on each time node in the research area, and analyzed the transfer in and transfer out, increase and decrease of land for ecological space, living space and production space. Then, we used the Gauss-Seidel method to draw the Sankey diagram of ecological-living-productive space circulation, to quantitatively analyze the Yangtze River shoreline change in Jiangsu Province, and provide technical support for the ecological monitoring in the Yangtze River Economic Belt (Jiangsu Section).

Key words: ecological-living-productive space, Yangtze River shoreline, transfer matrix model, land-use, Sankey diagram

长江岸线作为支撑长江经济带发展的重要资源，是沿江重要国民经济基础设施建设的载体[1]。岸线是指水陆相交界的地带，是一种不可再生的稀缺资源[2]。长江岸线的开发利用存在集约程度低、岸线资源浪费严重；缺乏有效管理，岸线利用无序；免费排污泛滥，威胁生态安全等问题[3]。因此，研究长江岸线变化对促进长江岸线区域土地利用结构的调整与优化、土地综合整治、土地保护、土地利用潜力的充分挖掘以及国民经济的持续健康发展等都具有重要意义[4]。

传统依靠人工监测岸线的方法，耗时耗力且不具有实时性，不能反映长时序下长江岸线的动态变化情况。陆晓燕[5]等利用国外遥感影像数据对江苏省沿海海岸线的变迁进行连续监测，获取了各时期发生变化的岸段、滩涂围垦面积等信息；常沁楠[6]等利用国产高分卫星遥感数据对长江岸线岸滩土地利用情况进行面向对象的分类，展现了“长江大保护”前后南京长江岸线岸滩和主要涉水工程的动态变化，以便于更好地利用和保护长江岸线资源；李贺颖[7]等利用7个时期的全国土地利用数据生成黄河流域湿地景观矢量数据库，采用转移矩阵分析了湿地景观之间以及湿地景观与非湿地景观之间的转换特征，为黄河流域湿地保护和管理提供科学参考；刘斌[8]等以云南省杞麓湖高原流域为研究区，选取最新的卫星遥感影像进行土地利用分类，以全国第二次土地利用调查数据为基期，结合野外实地调研和土地利用转移矩阵开展土地利用现状和演变分析。本文以2015—2021年江苏省沿江2 km

收稿日期：2023-01-12。
项目来源：江苏省自然资源厅指导性科研型资助项目（2021040）。
第一作者简介：陈年松（1979—），硕士研究生，高级工程师，主要从事数据分析和地理信息系统工作，E-mail：chenniansong@163.com。
通信作者：徐贵阳（1987—），本科，高级工程师，主要从事数据治理、大数据分析和国土空间规划应用工作，E-mail：youngchinaa@163.com。

范围内不同时间节点的三生空间数据为研究对象，计算土地利用转移矩阵表，并生成桑基图进行可视化时空对比分析，直观展示江苏段长江岸线的发展变化情况，为生态监测提供有效的技术手段。

1　研究区概况与数据预处理

1.1　研究区概况

长江是我国最长的河流，其长度和水量均居世界第三位，自西向东横贯我国中部，地位十分重要。长江经济带（江苏段）涉及南京、镇江、常州、无锡、苏州、扬州、泰州、南通8市29个区县。江苏省沿江地区位于我国沿海与沿江生产力布局主轴线的结合部，区位优势明显，是经济社会发展较发达的地区，是江苏省生产力布局的重要组成部分，在全省经济社会发展中具有承南启北的重要作用。

1.2　数据预处理

党的十八大报告提出了三生空间的概念[9]，将国土空间划分为生产、生活和生态空间。生产空间以工业生产和服务功能为主导；生活空间是提供和保障居民生活的场所，具有公共管理、教育医疗等生活保障功能；生态空间具有保护生态系统、生态环境调节等功能[10]。本文选取2015年、2017年、2019年和2021年的江苏省长江岸线三生空间数据，具体预处理过程为：①基于长江江苏段丰水期的水涯线，向南北两岸各扩展2 km的距离，采用Buffer工具生成缓冲区面，通过该缓冲区面裁切出江苏省沿江2 km范围内4年的地表覆盖数据；②将地表覆盖数据统一投影到高斯—克吕格CGCS2000坐标系，便于面积计算；③按照“生态空间对应林草覆盖、荒漠与裸露地、水域，生产空间对应种植土地、人工堆掘地、构筑物（水工设施、城墙、温室、大棚、固化池、工业设施、沙障等），生活空间对应房屋建筑、铁路与道路”的关系进行图斑类型的重分类，生成4年的三生空间数据。

2　研究方法

2.1　土地转移矩阵

本文采用马尔科夫转移矩阵模型来分析三生空间的转换关系。马尔科夫转移矩阵模型是依据时间序列的变化关系求解转移矩阵，从而分析时间序列变化规律和趋势的一种方法[11]。其基本模型为[12]：

$$\boldsymbol{X}(K+1)=\boldsymbol{X}(K)\times\boldsymbol{P} \tag{1}$$

式中，$\boldsymbol{X}(K)$为趋势分析与预测对象在$T=K$时刻的状态向量；$\boldsymbol{P}$为一步转移概率矩阵。

土地利用转移矩阵是马尔科夫转移矩阵模型在土地利用变化方面的应用[13]，利用ArcGIS软件的空间分析功能可制作土地利用转移矩阵[14]。土地利用转移矩阵不仅能反映某一地区某时段期初和期末各种地类的面积变化情况，还能反映不同地类之间的相互转化过程。若$\boldsymbol{P}$为T_0~T_1时刻土地利用转移矩阵，则具有以下性质：①非负性，即任意两种土地利用类型间的转移概率均不能小于0，$0\leqslant p_{ij}\leqslant 1$；②归一性，即一种土地利用类型转化为其他土地利用类型的概率和为1，$\sum_{j=1}^{n}p_{ij}=1$，其表达式为：

$$\boldsymbol{P}=\begin{bmatrix} p_{11}p_{12}p_{13}\cdots p_{1n} \\ p_{21}p_{22}p_{23}\cdots p_{2n} \\ p_{31}p_{32}p_{33}\cdots p_{3n} \\ \cdots \\ p_{n1}p_{n2}p_{n3}\cdots p_{nn} \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中，p_{ij}为T_0~T_1时刻土地利用类型i转化为土地利用类型j的概率。

2.2　桑基图

桑基图是一种对资源要素流动过程进行可视化表达的流程图式，阐明了系统中不同要素的流量、流向、转换关系等定量信息，在表达系统运行效率、不同资源要素配置和流动规律方面具有重要作用。桑基图早期主要用于能源流动的可视化表达，Sankey首次绘制“蒸汽机的热能效率图”，此后便以其名字命名为桑基图[15]。

桑基图要展现数据流，实现数据可视化，首先需拆解元素，分清节点和边[16]；然后是坐标的计算，包括点坐标和边坐标。图形中任何的元素都可看作是点连线而成，因此元素坐标的计算又可以看作点坐标的计算。本文采用高斯—赛德尔迭代法计算桑基图的坐标，假设线性方程组为：

$$a_{i1}x_1+a_{i2}x_2+\ldots+a_{in}x_n=b_i \quad i=1,2,\cdots,n \tag{3}$$

高斯—赛德尔迭代公式为：

$$x_i^{(k+1)}=\left(b_i-\sum_{j=1}^{i-1}a_{ij}x_j^{(k+1)}-\sum_{j=i+1}^{n}a_{ij}x_j^{(k)}\right)/a_{ii}$$

$$i=1,2,\cdots,n;k=0,1,2,\cdots \tag{4}$$

此处假定$a_{ii}\neq 0(i=1,2,\cdots,n)$。当矩阵严格对角占优或对称正定时，高斯—赛德尔迭代法必收敛。

3 研究过程与结果

3.1 三生空间类型转移变化分析

为研究三生空间类型之间的转化关系，本文利用三生空间数据分别计算2015—2017年、2017—2019年和2019—2021年的转移矩阵表（表1~3），可以看出，2015—2017年生产空间转出406 km²，仅转入42.25 km²，生活空间仅转出23.25 km²，转入184.0 km²，生态空间仅转出47.5 km²，转入250.5 km²，生产空间减少，生活、生态空间增加，标志着生态环境变好；2017—2019年生产空间转出88.5 km²，转入103.25 km²，生活空间转出46.75 km²，转入50.75 km²，生态空间转出100.5 km²，转入81.75 km²，该阶段三生空间的转入和转出量差别不大，达到了一个平衡状态；2019—2021年生产空间转出78.17km²，转入46.57 km²，生活空间转出23.63 km²，转入27.64km²，生态空间转出39.81 km²，转入67.41 km²，该阶段三生空间的转入量和转出量差别不大，生产空间略有减少、生态空间略有增加，表明长江岸线地区生态环境持续向好。

表1 2015—2017年三生空间转移矩阵表/km²

		2017年				
		生产空间	生活空间	生态空间	总计	转出量
2015年	生产空间	610.08	168.75	237.25	1 016.08	406.0
	生活空间	10.0	515.33	13.25	538.58	23.25
	生态空间	32.25	15.25	1 832.08	1 879.58	47.5
	总计	652.33	699.33	2 082.58	3 434.24	
	转入量	42.25	184.0	250.5		

表2 2017—2019年三生空间转移矩阵表/km²

		2019年				
		生产空间	生活空间	生态空间	总计	转出量
2017年	生产空间	632.5	27	61.5	721	88.5
	生活空间	26.5	506	20.25	552.75	46.75
	生态空间	76.75	23.75	2 078.75	2 179.25	100.5
	总计	735.75	556.75	2160.5	3453	
	转入量	103.25	50.75	81.75		

表3 2019—2021年三生空间转移矩阵表/km²

		2021年				
		生产空间	生活空间	生态空间	总计	转出量
2019年	生产空间	650.95	20.01	58.17	729.12	78.17
	生活空间	14.39	542.85	9.24	566.48	23.63
	生态空间	32.18	7.64	2 113.37	2 153.18	39.81
	总计	697.51	570.49	2 180.78	3 448.78	
	转入量	46.57	27.64	67.41		

3.2 三生空间类型面积变化分析

以两年为一个评测周期，依次选择2015年、2017年、2019年和2021年的三生空间数据，分别统计各空间类型的面积，绘制线状图（图1）可直观反映三生空间的变化趋势，可以看出，研究区内生产空间面积整体呈下降趋势，2015—2017年有一个较大幅度的下调，2019—2021年也有将近一个百分点的降低；生活、生态空间面积在2015—2017年有较大增加，并在随后的时间段内保持不变。

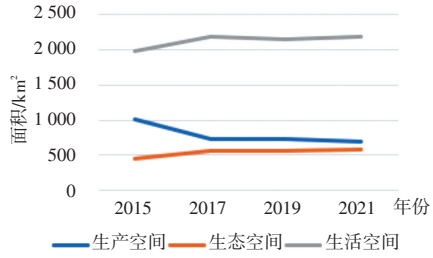


图1 长江岸线2015—2021年三生空间面积变化线状图

3.3 基于桑基图的三生空间可视化变化分析

基于高斯—赛德尔迭代法，本文采用Python语言开发程序，代入表1~3的转移矩阵数据，最终生成2015—2021年长江岸线三生空间转移关系桑基图（图2），从而非常直观地将三生空间地类要素的转移变化关系表现出来。

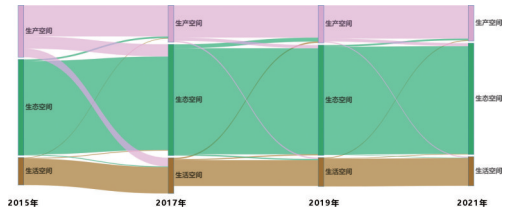


图2 2015—2021年长江岸线三生空间转移关系桑基图

4 结 语

长江岸线资源是国土空间管控和整治的重点，也是长江经济带工业布局的重要载体[17]。为服务于长江岸线生态监测与长江经济带（江苏段）的高质量发展，本文构建了2015—2021年江苏省沿江三生空间矢量数据库，基于转移矩阵和桑基图对江苏省沿江2 km范围内三生空间的变化进行定量分析，研究发现：

1）2015年研究区内生态空间占比为57.93%，考虑到大部分区域是长江水域，因此单一指标并不能说明研究区域生态状况的好坏。

2）2016年1月，习近平总书记提出“共抓大保护、不搞大开发”“生态优先、绿色发展”的长江经济带发展理念。2015—2017年的三生空间转移矩阵表最明显的变化就是生产空间减少，生活、生态空间增加；在桑基图上表现为生产空间大量流转为生态空间

（下转第92页）