引文格式：陈晨,朱灵伟. 村镇尺度耕地景观生态安全格局变化研究[J]. 地理空间信息, 2026, 24(4):61-64. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.04.013

村镇尺度耕地景观生态安全格局变化研究

陈　晨，朱灵伟*
（深圳市规划国土发展研究中心，广东 深圳 518040）

摘　要：基于2014年、2019年、2023年土地利用数据，运用空间分析与景观计量方法，系统揭示深汕特别合作区耕地数量-格局-生态安全的多维演变规律，为快速城镇化区域统筹耕地保护和高质量发展提供支撑。结果表明：①政策干预驱动耕地流失呈现两阶段分异：2014—2023年耕地净损1 724 hm^2，其中2014—2019年农业结构调整导致“隐性非粮化”（减少1 868.3 hm^2），2019年后建设占耕主导但流失速率下降（减少250.1 hm^2），印证“田长制”、占补平衡等政策的控损成效；②快速城镇化加剧耕地破碎化，镇级斑块密度增幅105.7%（0.87→1.79），村级　级危险区扩张25%（8→10村），耕地安全重心迁移轨迹（南移0.8 km→东北转1.5 km）滞后“西产东游”战略实施；③镇-村尺度呈现“宏观优化-微观退化”悖论，镇域耕地景观生态安全指数回升（0.33→0.47），但村级危险区占比升至77.4%。随着耕地保护政策收紧，研究区耕地数量持续减少的势头初步缓和，但微观尺度的生态安全呈现退化趋势，亟待构建“全域统筹-村域定制”的协同治理体系。

关键词：耕地；景观生态安全；村镇尺度；时空变化；合作区
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）04-0061-04

Research on the Ecological Security Pattern Changes of Cultivated Land Landscape at Village and Town Scale

CHEN Chen, ZHU Lingwei
(Shenzhen Urban Planning and Land Resource Center, Shenzhen 518040, China)

Abstract: Based on the land-use data in 2014, 2019 and 2023, we used spatial analysis and landscape measurement methods to systematically reveal the multi-dimensional evolution rules of cultivated land quantity, pattern and ecological security in the Shenzhen-Shantou Special Cooperation Zone, so as to provide support for the overall protection and high-quality development of cultivated land in the rapid urbanization area. The results showed that ①the loss of cultivated land driven by policy intervention showed two stages, the net loss of cultivated land from 2014 to 2023 was 1 724 ha, of which the adjustment of agricultural structure led to “hidden non-grain production” (decreased by 1 868.3 ha) from 2014 to 2019, and the loss rate decreased after 2019 (decreased by 250.1 ha), which confirmed the loss control effect of policies such as “field chief system” and balance of occupation and compensation. ②Rapid urbanization aggravated the fragmentation of cultivated land, the density of town-level patches increased by 105.7% (0.87 to 1.79), the village-level I. dangerous area expanded by 25% (8 to 10 villages), and the migration trajectory of cultivated land safety gravity center (0.8 km to the south→1.5 km to the northeast) lagged behind the implementation of the “west-to-east tourism” strategy. ③The village and town scale showed the paradox of “macro optimization-micro degradation”, and the ecological security index of cultivated land landscape in the town area rebounded (0.33 to 0.47), but the proportion of village-level dangerous areas increased to 77.4%. With the tightening of cultivated land protection policies, the continuous reduction of cultivated land in the study area has initially eased, but the ecological security at the micro scale has shown a degrading trend, and it is urgent to build a collaborative governance system of “global overall planning and village customization”.

Key words: cultivated land, landscape ecological security, village and town scale, spatio- temporal change, cooperation zone

耕地是受人类活动高度干预和调控的自然-人工复合生态系统[1]。长期以来，耕地质量退化、“非农化”、“非粮化”及农业面源污染等问题威胁制约我国粮食安全稳定和生态文明建设[2]。在耕地“三位一体”保护背景下，国内学者围绕耕地生态安全主题，聚焦耕地系统健康评估[3-4]、生态安全评价[5-6]、景观生态安全[7-8]等领域，在流域及省市级尺度开展系列研究，主要方法包括PSR模型[9]、BP神经网络分析[10]、熵权-TOPSIS模型、无偏GM(1,1)模型[11]、生态足迹模型[12]以及景观生态安全模型[13-14]等。现有研究虽丰富

项目来源：广东省深圳市级基本农田建设和耕地保护专项项目（SZDL2022000957）。
第一作者简介：陈晨（1991—），硕士，高级工程师，从事土地资源可持续利用、土地节约集约利用等工作，E-mail：chen.chen@whu.edu.cn。
通信作者：朱灵伟（1991—），硕士，工程师，从事国土空间用途管制、耕地保护和生态改善等工作，E-mail：zhulingwei@whu.edu.cn。

了耕地生态保护的理论体系和方法[15–17]，但存在三方面局限：①研究内容偏重地形地貌特征的影响[18–20]；②地理尺度较多聚焦流域及省域；③鲜有结合城镇发展特征和建设模式，聚焦镇村微观尺度解析耕地景观生态安全演变规律。

本研究综合运用土地利用转移矩阵、景观生态安全评价模型和重心迁移模型，基于多源遥感数据与GIS技术，系统解析2014—2023年深汕合作区耕地数量时空演变特征，并从镇–村两级尺度揭示耕地景观生态安全空间分异规律，定量刻画重心迁移轨迹，以期为同类地区统筹耕地系统保护和城市高质量建设提供决策参考。

1 研究方法

1.1 土地利用转移矩阵模型

转移矩阵（transition matrix）是一个二维数组，用于表征某一运动系统从一个状态到另一状态的转移概率，由俄国数学家马尔科夫提出，又称为马尔可夫矩阵（markov matrix）或转移概率矩阵（transition probability matrix）。该矩阵模型被广泛应用于地理学领域研究，能够较好反映区域土地利用变化的结构特征，各用地类型间变化的方向与规模等[21]。模型表达公式为：

$$\boldsymbol{S}_{i,j}=\begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1m} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \cdots & s_{nm} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中，S 为各类土地利用类型的总面积；n，m 为土地利用类型的类型数；i 为研究基期的土地利用类型；j 为研究末期的土地利用类型。

1.2 耕地景观生态安全评价模型

景观指数（landscape indices）是定量描述景观格局特征的核心工具，通过高度浓缩景观结构组成与空间配置信息，揭示生态过程与人类活动的相互作用[22]，通过量化“斑块–廊道–基质”的空间关系，为生态保护、土地管理和区域规划提供科学依据。本文参考耕地景观生态安全评价模型，选取斑块密度（PD）、边界密度（ED）、景观脆弱度（LV）等指标测算耕地景观生态安全指数（ESI），用于反映研究区耕地景观生态安全程度。其中，耕地脆弱度指标整合了耕地景观类型的生态敏感性和外界干扰程度，直接反映耕地生态风险，用于评估耕地空间结构特征及其生态效应；面积加强平均形状因子（AWMSI）和平均分维数（MFD）表征耕地斑块形态复杂性，与人类活动强度负相关；景观分离度（DIVISION）揭示耕地斑块空间分布的离散性，主要影响耕地资源利用效率。模型表达公式为：

$$\mathrm{ESI}=1-(PD+ED)\times 2.5LV \tag{2}$$

1.3 耕地景观格局重心转移模型

重心模型是一种基于物理学重心概念的跨学科分析方法，通过加权计算空间要素的均衡点，广泛应用于物流、经济、地理、艺术等领域。该模型通过重心迁移的方向、距离和速度反映空间要素在某一时期的变化趋势。模型表达公式为：

$$\left(X_t, Y_t\right)=\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}G_{ti}X_{ti}}{\sum_{i=1}^{n}G_{ti}}, \frac{\sum_{i=1}^{n}G_{ti}Y_{ti}}{\sum_{i=1}^{n}G_{ti}}\right] \tag{3}$$

式中，$\left(X_t, Y_t\right)$ 为区域内第 t 年耕地景观生态安全分布重心坐标；G_{ti} 为第 t 年第 i 个评价单元的耕地景观生态安全指数；X_{ti}、Y_{ti} 分别为第 t 年第 i 个评价单元的几何重心经度坐标和纬度坐标；n 为第 t 年的评价单元数。

2 研究区与数据

2.1 研究区概况

深汕合作区位于粤港澳大湾区最东端，毗邻惠州市惠东县西北部，属粤东沿海丘陵地貌，整体呈“北高南低、三面环山”地形特征，隶属广东省汕尾市海丰县。作为全国首个特别合作区，自2019年开启深圳全面主导新阶段，创新飞地经济模式推动区域协调发展，被定位为广东省发展改革“实验田”。辖区陆域面积460.41 km^2，下辖原汕尾市海丰县鹅埠、小漠、赤石、鲘门4个镇，行政村34个、社区5个。截至2023年，地区生产总值124.59亿元，第一、二、三产占比分别为11%、53%、36%，常住人口7.93万人。根据全国第三次全国国土调查公布数据，耕地面积19.68 km^2，建设用地面积26.58 km^2。

2.2 数据来源

研究区土地利用分类数据来源于武汉大学杨杰和黄昕教授团队基于Google地球引擎平台制作形成的30 m精度中国年度土地覆盖数据集（china land cover dataset，CLCD），该数据集利用Landsat数据提取并构建了丰富的时空特征，并结合随机森林分类器得到分类结果，总体精度为80%。运用ArcGIS10.2和ENVI 4.7软件，结合《土地利用现状分类》（GB/T 21010–2017）、自然资源卫星遥感云平台（https://sas-clouds.com）卫星影像数据，对研究区CLCD数据进一

步分类完善，划分为耕地、园地、林地、水域、建设用地、道路用地和未利用地共7个类型。研究时点选择参照国内5 a周期范式，鉴于研究区自2019年深圳主导后进入大开发阶段，城市定位转型引发土地用途转换需求激增，故将2019年作为分水岭（中期），设定2014年为基期。因2024年（末期）数据未发布，调整为2023年，最终确定2014年、2019年、2023年共3期作为观测窗口。

3　结果与分析

3.1　耕地数量时空演变特征分析

运用ArcGIS10.2软件分别计算研究区2014—2019年、2019—2023年土地利用转移矩阵，并通过Origin软件对耕地利用变化数据进行可视化分析。结果表明：2014—2023年耕地总量净减少1 724 hm^2，其演变呈现显著阶段性差异。2019—2023年耕地减少趋势得以缓解，耕地总量净增加7 hm^2，在深圳主导的国土空间用途管制下，城市建设进入迅速发展期，非农建设和区域交通设施占用耕地比重增加（85.67%），但依托耕地占补平衡制度实施，耕地总量得以实现动态平衡。

3.2　耕地景观生态安全变化特征

3.2.1　镇级尺度景观生态演变特点

运用Fragstats4.2软件分析了研究区2014年、2019年、2023年镇级尺度的耕地景观指数，并依据公式（2）计算得到耕地景观生态安全指数（ESI）。经极差归一化处理，将ESI数值标准化至[0,1]区间，结果如表1、2所示。

表1　镇级尺度耕地景观格局指数计算结果

评价单元	2014年				2019年				2023年			
	PD	*ED*	*LV*	*ESI*	*PD*	*ED*	*LV*	*ESI*	*PD*	*ED*	*LV*	*ESI*
小漠	0.52	18.13	2.51	0.18	1.35	13.12	1.84	0	1.21	8.32	1.49	0
鹅埠	1.04	29.16	3.11	1	2.34	22.87	2.15	1	2.49	22.29	1.66	1
赤石	0.76	18.12	2.77	0.28	1.27	13.58	1.94	0.18	1.36	14.64	1.53	0.48
鲘门	1.14	17.88	1.91	0	1.72	16.34	1.63	0.15	2.11	16.14	1.51	0.38
均值	0.87	20.82	2.58	0.37	1.67	16.48	1.89	0.33	1.79	15.35	1.55	0.47

表2　镇级尺度耕地景观生态安全分级结果

评价单元	2014年	2019年	2023年
小漠	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
鹅埠	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级
赤石	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅱ级
鲘门	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级

3.2.2　村级尺度景观生态演变特点

1）总体变化特征。基于村级尺度的耕地景观生态安全指数测算结果显示（表3），研究区31个耕地分布的行政村在2014—2023年间耕地景观生态安全水平呈现显著时空分异特征。其中，2014年耕地景观生态安全格局表现为：Ⅳ级（安全）区集中分布于东、西部片区，涵盖上北、西南、西湖、赤石等6个行政村（占比19.35%）；Ⅲ级（较安全）区以西南片区为主（7村，占比22.58%）；Ⅱ级（较危险）区主导北部及南部（10村，占比32.26%）；Ⅰ级（危险）区形成中部–西北部集聚区（8村，占比25.81%）。至2023年，耕地景观生态安全格局发生系统性重构：①Ⅳ级区锐减至西湖、赤石2村（占比6.45%）；②Ⅲ级区数量缩减至5个，集中分布于东部片区（占比16.13%）；③Ⅱ级区扩张至14村（占比45.16%），形成东部–东北–东南连续分布带；④Ⅰ级区增至10村（占比32.26%），呈现南北向带状空间格局。时序演变表明，高安全等级区（Ⅲ–Ⅳ级）行政村数量由13个（2014年）下降至7个（2023年），而中低安全等级区（Ⅰ–Ⅱ级）由18个增至24个，耕地景观生态安全呈现全域退化态势。

表3　村级尺度耕地景观生态安全级别统计

景观生态安全级别	2014年		2019年		2023年	
	村个数/个	占比/%	村个数/个	占比/%	村个数/个	占比/%
Ⅰ级	8	25.81	9	29.03	10	32.26
Ⅱ级	10	32.26	6	19.35	14	45.16
Ⅲ级	7	22.58	10	32.26	5	16.13
Ⅳ级	6	19.35	6	19.35	2	6.45

2）阶段变化特征。阶段Ⅰ（2014—2019年）：耕地景观生态安全格局呈现“核心塌陷–边缘改善”的二元特征。Ⅰ级（危险）区面积扩张显著，典型表现为上北村由Ⅳ级（安全）区突变至Ⅰ级（危险），其作为深汕合作区行政中心，在城镇扩张驱动下，各类建设占用导致耕地破碎化加剧、连通性降低，引发耕地生态安全水平断崖式下降；Ⅱ级区行政村数量减少4个，通过开展土地整理开发项目新增耕地，促进耕地集中连片，推动安全等级升级。其中，水美村（Ⅱ→Ⅳ级），落坑、红泉和红源村（Ⅱ→Ⅲ级）。值得注意的是，Ⅳ级区虽保持6村数量，但其空间重心向西南生态屏障区迁移，反映出耕地保护与城镇化的空间博弈。阶段II（2019—2023年）：耕地景观生态安全格局演变为“廊道切割–等级压缩”模式，Ⅰ级区持续扩大（10村），形成贯穿南北的带状廊道，新增危险区集中于南部沿海平原，与区域交通线性基础设施、新型产业园区等重点项目和开发区高度重叠；Ⅱ级区行政村由6个激增至14个（+133.3%），主要集

中在东部沿海平原区域；Ⅲ级区村个数由10个减少至5个（–50%）；Ⅳ级（安全）区村个数由6个减少至2个（–67%），表征耕地生态安全基底持续弱化。

3.3 耕地景观生态安全重心变化特征

基于ArcGIS10.2软件空间统计工具（Spatial Statistic Tools），依据公式（3）计算得出研究区2014年、2019年、2023年耕地景观生态安全重心空间坐标，并借助Origin软件实现迁移轨迹可视化。时序演变显示：研究区生态安全重心呈现“南向迁移→东北回转”的折线型演变路径，总位移矢量2.3 km。阶段I（2014—2019年）：重心向南迁移0.8 km（年均位移0.16 km），从沿海冲积平原转移至河口三角洲区域；阶段II（2019—2023年）：重心向东北迁移1.5 km（年均位移0.38 km），转向丘陵过渡带，反映耕地安全格局向地形约束区收缩的特征。尽管重心迁移幅度相对有限（标准差椭圆面积<5 km^2），但其空间轨迹与区域开发强度呈现负相关，揭示了人类活动干扰驱动的耕地生态安全空间重构过程。

4 结 语

基于2014—2023年土地利用数据，本研究系统揭示了深汕合作区耕地多维演变规律。主要结论如下：①数量变化呈现政策干预效应。②格局演变凸显空间治理挑战。③生态安全存在“多尺度悖论”。研究说明当前评估模型可优化整合耕地质量参数，并需量化具体驱动因子。空间治理上，应实施“多田套合”与“林耕置换”等精准措施，构建“全域统筹–村域定制”的协同治理体系，以提升耕地生态安全水平。

参考文献

[1] 陈凯,孙伟杰,谭春婵,等. 建立健全耕地生态管护制度的若干思考[J].中国国土资源经济,2023,36(8):58-64

[2] 金晓斌,石师. 新时期系统保护导向下的耕地生态保护修复思考[J]. 中国土地,2023,42(11):31-33

[3] 周小平,梁颖,李小天,等. 耕地系统健康的时空演变及其驱动因素研究:以长江中下游地区为例[J]. 自然资源学报,2024,39(5):1174-1192

[4] 朱灵伟,彭云飞,陈晨,等. 耕地碳源和碳汇视角的保护补偿研究[J]. 地理空间信息,2024,22(12):1-6

[5] 韩琭,宋子言. 耕地生态安全动态评价及障碍因子诊断:以黄河下游沿黄县区为例[J]. 水土保持通报,2021,41(6):148-156

[6] 郑华伟,张锐,孟展,等. 基于PSR模型与集对分析的耕地生态安全诊断[J]. 中国土地科学,2015,29(12):42-50

[7] 杨晓红,张双双,汪鑫. 基于地理国情数据的土地利用景观格局分析[J]. 地理空间信息,2019,17(10):32-36

[8] 李秀芝. 北戴河新区耕地景观生态安全时空变化研究[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(3):59-64

[9] 王立业,师春春,张文信,等. 2009—2019年山东省耕地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 水土保持研究,2022,29(6):138-145

[10] 黄永诗语,曾莹. 基于BP神经网络的粮食-耕地生态安全耦合协调研究[J]. 湖北工业大学学报,2024,39(4):106-111

[11] 马年圣,支晓娟,宋雨婷. 基于PSR和GM(1,1)模型的西藏耕地生态安全评价与预测[J]. 干旱区资源与环境,2018,32(11):81-86

[12] 凡哲,付伟,张旭杰,等. 基于生态足迹模型的云南省生态安全评价[J].西南林业大学学报(社会科学),2021,5(4):104-110

[13] 赵馨,周忠发,朱孟,等. 基于景观格局的西南山区耕地生态风险研究[J]. 水土保持研究,2020,27(6):362-369

[14] 袁媛,罗志军,赵杰,等. 基于景观结构和空间统计学的南昌市景观生态安全评价[J]. 水土保持研究,2020,27(3):247-255

[15] 陈苗苗,吕剑平. 基于熵权-TOPSIS的黄河上游耕地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 云南农业大学学报(社会科学),2024,18(5):72-80

[16] 杨恒,马雯秋,张卓彦,等. 面向宜机化整治的丘陵山区耕地生态安全预测与提升路径研究:以重庆市典型地区为例[J]. 自然资源学报,2024,39(11):2657-2675

[17] 韩逸,郭熙,江叶枫,等. 南方丘陵区耕地景观生态安全影响因素及其空间差异[J]. 生态学报,2019,39(17):6522-6533

[18] 白永刚,刘学录,刘星雨. 黄土丘陵区县域耕地时空格局变化及驱动因素分析:以天水市武山县为例 [J]. 国土与自然资源研究,2025,46(1):8-13

[19] 张丽芳,冉丹阳,杨存建,等. 横断山区凉山州耕地景观安全格局演变及驱动力分析[J]. 生态科学,2020,39(2):25-31

[20] 张志军,伍维模,张宏. 塔里木河中游耕地扩张及景观破碎化研究[J]. 地理空间信息,2018,16(8):19-23

[21] 李健,张文春. 近30年大庆市土地利用变化特征分析[J]. 吉林建筑大学学报,2021,38(3):21-27

[22] 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究[J]. 应用生态学报,2002,13(1):121-125