引文格式：刘晓东,刘典迪,李蕊娟. 基于改进 MCR 模型的耕地整治时序分区[J]. 地理空间信息, 2025, 23(3): 81-85. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.03.019

基于改进 MCR 模型的耕地整治时序分区
——以贵州省仁怀市为例

刘晓东[1]，刘典迪[1]，李蕊娟[1]
（1. 吉奥时空信息技术股份有限公司，湖北 武汉 430223）

摘　要：科学识别耕地整治的优先次序与分区，有助于落实耕地“两平衡”政策，达到保障国家粮食安全与优化国土空间格局的目的。采用改进 MCR 模型，综合考虑不同等级耕地源的拓展效应，从自然、生态和社会经济 3 个方面建立综合阻力面来模拟耕地扩展过程中克服的阻力大小，据此将研究区耕地整治时序分为优先整治区、优化整治区、限制整治区和禁止整治区。结果表明，优先整治区面积为 638.11 km^2，占比为 35.65%；优化整治区面积为 669.25 km^2，占比为 37.39%；限制整治区面积为 371.95 km^2，占比为 20.78%；禁止整治区面积为 110.62 km^2，占比为 6.18%。研究结果可为全域土地综合整治和耕地进出平衡方案编制提供新的方法和依据。

关键词：MCR 模型；耕地整治；时序；分区；仁怀市
中图分类号：TU982　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）03-0081-05

Time Series Zoning of Cultivated Land Consolidation Based on Improved MCR Model: A Case Study of Renhuai City, Guizhou Province

LIU Xiaodong[1], LIU Diandi[1], LI Ruijuan[1]
(1. Wuda Geoinformatics Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: Scientific identification of the priorities and zoning of cultivated land consolidation can help to implement the policy of “two balances” of cultivated land, and achieve the purpose of guaranteeing national food security and optimizing the spatial pattern of territory. In this paper, using the improved MCR model, considering the expansion effect of different levels of cultivated land sources, we established comprehensive resistance surfaces from natural, ecological and socio-economic aspects to simulate the amount of resistance value in the process of cultivated land expansion. Then, according to the amount of resistance value, we divided the cultivated land consolidation time series of study area into four sub-zones, namely priority consolidation area, optimization consolidation area, restriction consolidation area and prohibited consolidation area. The results show that the priority consolidation area covers an area of 638.11 km^2, accounting for 35.65% of the total area. The optimization consolidation area covers an area of 669.25 km^2, accounting for 37.39% of the total area. The restriction consolidation area covers an area of 371.95 km^2, accounting for 20.78% of the total area. The prohibited consolidation area covers an area of 110.62 km^2, accounting for 6.18% of the total area. The results can provide a new method and basis for the comprehensive land consolidation and the formulation of cultivated land in-and-out balance programs.

Key words: MCR model, cultivated land consolidation, time series, zoning, Renhuai City

耕地整治是在一定区域内，根据区域经济发展需要，对待整治区内耕地的利用方式、结构、分布和权属关系等进行合理组织和调整的过程[1]。现阶段我国耕地整治的目的是增加有效耕地面积，提高耕地质量和生态。耕地资源作为土地资源的精华部分，其可持续利用无疑是粮食安全的根本。耕地整治时序评价是开展土地整治规划的一项前期基本工作，可为确定整治项目优先次序和重点项目区布局提供依据，进而为全域土地综合整治、生态保护修复和乡村规划项目的可研编制、规划编制提供有力支撑[2]。目前土地整治时序的相关研究主要集中在建设用地整治时序、农村居民点整治时序和高标准基本农田整治时序 3 个方面[3-10]，大部分是基于指标因子加权叠加的评价方法，仅考虑指标因子在空间上的纵向叠加效应，而未考虑耕地斑块的水平拓展效应；部分研究虽考虑了耕地斑块的水平拓展效应，但又忽略了不同等级耕地斑块的拓展能力。

最小累积阻力（MCR）模型能综合各图层的垂直叠加效应和水平扩张效应，有效模拟源邻近区域内地块转变为与源具有相同属性的阻力大小。喀斯特地区

第一作者简介：刘晓东（1989—），硕士研究生，工程师，从事地理信息系统研发及国土空间规划相关工作，E-mail：lxdong1201@163.com。

生态环境脆弱、地形复杂、耕地斑块破碎且受地带性因素的影响，耕地肥力空间分异明显。仁怀市作为贵州省典型的喀斯特地区，其耕地整治时序有别于一般丘陵和平原地区。在喀斯特地区关于耕地整治时序的研究相对薄弱，因此本文以仁怀市为研究区，通过改进MCR模型，从自然因素限制、生态环境限制和社会经济因素限制3个方面构建综合阻力面，将不同等级耕地源向外扩张累积阻力值作为划分耕地整治时序的依据，对仁怀市耕地整治时序进行分区，以期为喀斯特地区耕地整治重点项目区的选取提供新的方法和依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

仁怀市是国酒茅台生产地，位于黔北西部、赤水河中游，地理坐标为27°33′30″~28°10′19″N、105°59′49″~106°35′50″E。全市绝大部分处于赤水河东岸、大娄山西北侧的斜坡上，是长江上游重要的生态屏障，属于典型的生态脆弱区；具有地形起伏度大、切割强、坡度陡、地形破碎等特点；属山原、中山峡谷地貌，岩溶地貌和侵蚀地貌交错分布；国土面积为1 789.92 km^2，喀斯特地区面积占比为66.7%。

1.2 数据来源

本文采用的数据包括仁怀市DEM（1∶5万），坡度图由DEM直接生成；仁怀市地带性土壤图（1∶50万）、仁怀市区域岩性图（1∶50万）、仁怀市土地利用现状图（1∶1万）；交通图和水系（沟渠）图（1∶1万）、交通网络和水系（沟渠）矢量图；2021年Landsat ETM影像，石漠化数据和NDVI数据由影像解译得到；仁怀市相关统计数据（2022年），采用空间内插法转换为栅格数据。为保证计算结果的科学性和合理性，所有矢量数据均转换为栅格数据，栅格单元大小为30 m×30 m。

1.3 MCR模型

MCR模型是指源经过不同阻力的景观界面克服阻力所做的功[11]，后经俞孔坚、陈利项等[12-13]改进，具体表达式为：

$$MCR = f\min\sum_{j=n}^{i=m}(D_{ij}\times R_i) \quad (1)$$

式中，f 为一个未知的正函数，反映空间中任意点的最小阻力与其到所有源的距离和景观基面特征的正相关关系；min函数为累积阻力的最小值；D_{ij} 为耕地斑块从源 j 到空间另一耕地斑块i的空间距离；R_i 为耕地斑块 i 对某地块属性变化的阻力系数[14]。

直接采用MCR模型模拟耕地扩张忽略了源的等级，而喀斯特地区地形地貌复杂，耕地斑块受地带性因素影响明显，土壤肥力在空间上存在较大的异质性。因此，本文采用改进MCR模型[15]，综合考虑不同等级的源对耕地扩张的影响，构建适合模拟耕地整治时序的模型。

$$MCR_k = f\min\sum_{j=n}^{i=m}(D_{ij}\times R_i\times K_j) \quad (2)$$

式中，K_j 为源 j 所属等级的相对阻力因子，耕地斑块等级越高、集中连片程度越大，其整治为基本农田的可能性就越大，对应的相对阻力因子越小。

利用该模型应先确定不同等级耕地扩展的起点即源，再确定综合阻力面，最后利用ArcGIS中Cost-distance模块来实现。

1.4 源的确定

在耕地整治项目中源具有集中连片、一定规模且土地生产功能良好等特性，是整治项目区向外扩张或维持原状的起点，具有内部同质性和向四周扩张或吸引的能力[16]。耕地向外扩张受坡度、斑块面积、自然等、利用等和耕作层厚度等诸多因素影响，结合仁怀市实际，本文选择坡度、耕地最小斑块面积和土层厚度3个指标作为源的分级依据，具体分级见表1。

表1 耕地斑块源与分级依据

等级	坡度/(°)	最小斑块面积/hm^2	土层厚度/cm
一级（0.6）	0~6	≥20	≥80
二级（0.8）	6~15	≥30	≥60
三级（1.0）	15~25	≥40	≥40

1.5 阻力面和阻力系数的建立

耕地整治应以不破坏区域生态环境为前提，需克服经济、社会和自然等方面的阻力。本文从坡度、地形起伏度、地块聚集度、沟渠密度、石漠化程度、植被覆盖度、道路密度、土壤类型、人均GDP和地块破碎度等10个方面建立阻力面（表2）；并将各指标对耕地整治的阻碍程度划分为5个等级，从开展土地整治活动的适宜程度上将各等级的相对阻力系数由适宜到不适宜分别赋值100、200、300、400、500。指标体系权重由层次分析法确定，具体权重见表3。

2 研究结果与分析

2.1 综合阻力面的生成

综合阻力面反映影响区域土地整治各因素在空间上垂直叠加效应，可抽象表示为：

表2　仁怀市耕地整治时序阻力面指标体系及其解释

目标层	因子层	指标层	指标解释
土地整治时序	自然因素限制	坡度	坡度的陡缓直接影响耕地质量
		地形起伏度	值越大，土壤侵蚀作用越明显，整治可行性越低
		地块聚集度	值越大，相应的耕作半径越小，运费成本和时间成本也会减少，区域土地整治适宜性越高；该数据由地块几何中心点以2 000 m为耕作半径搜索，通过ArcGIS中Kernel Density工具生成
		地块破碎度	值越小，越便于农业生产，土地整治适宜度越高；地块破碎度=平均田块面积/标准田块面积，由ArcGIS地统计模块中普通克里金插值得到
		土壤类型	土壤肥力越大，土地整治适宜程度越高，耕地向外扩展的能力越大
	生态环境限制	石漠化程度	石漠化是喀斯特地区脆弱生态环境下，地表呈现类似荒漠景观的岩石逐渐裸露的演替过程，石漠化程度越高，耕地整治可行性越低
		植被覆盖度	值越低，则该区域整治潜力越大
	社会经济因素限制	道路密度	可反映区域基础设施的完备程度和便捷度，值越大表示可达性越高，整治可行性越高；本文道路密度以2 000 m为搜索半径，由ArcGIS中Line Density工具生成
		人均GDP	土地整治项目也需要地方财政资金支持，值越高表明整治可行性越大；本文在统计年鉴中获取人均GDP数据，并由ArcGIS地统计模块中普通克里金插值得到
		沟渠密度	值越大，整治可行性越高；本文沟渠密度以2 000 m为搜索半径，由ArcGIS中Line Density工具生成

表3　仁怀市耕地整治时序指标相对阻力及其权重

指标	100	200	300	400	500	权重
坡度/(°)	0~2	2~6	6~15	15~25	>25	0.187 3
地形起伏度/m	0~18.46	18.46~36.92	36.92~189.24	189.24~516.94	516.94~1 176.96	0.061 2
地块聚集度/hm^2	72.95~157.14	53.90~72.95	31.92~53.90	21.94~31.92	0.43~21.94	0.042 6
地块破碎度	0.006~0.030	0.030~0.049	0.049~0.070	0.070~0.096	0.096~0.165	0.078 5
土壤类型	石灰土	黄壤	黄棕壤、紫色土	水稻土	粗骨土	0.095 4
石漠化程度	非喀斯特、无石漠化	轻度石漠化	中度石漠化	重度石漠化	极度石漠化	0.102 1
植被覆盖度	<0.10	0.10~0.30	0.30~0.45	0.45~0.60	>0.60	0.092 3
道路密度/(km/km^2)	38.49~82.48	25.87~38.49	14.55~25.87	5.49~14.55	0~5.49	0.148 9
人均GDP/万元	>5	4	3	2	<1	0.075 3
沟渠密度/(km/km^2)	37.99~75.99	21.45~37.99	10.43~21.45	3.87~10.43	0~3.87	0.116 4

注：地形起伏度、地块聚集度、地块破碎度、沟渠密度、道路密度分级方法均采用自然断裂点分级法。

$$LCR=\sum_{i=1}^{n}(S_i\times W_i) \quad (3)$$

式中，LCR为影响土地整治时序的综合阻力值；n为单因子阻力图层数量；S_i为单因子阻力图层，在ArcGIS软件中重分类为100~500五个阻力值；W_i为单因子阻力图层的因子权重。

综合阻力面在ArcGIS软件中由栅格计算器生成（图1），低值区集中分布在仁怀市赤水河、盐津河和五马河等低山河谷地带；高值区的分布则较分散，主要分布在海拔高度大于1 300 m的低中山地区。

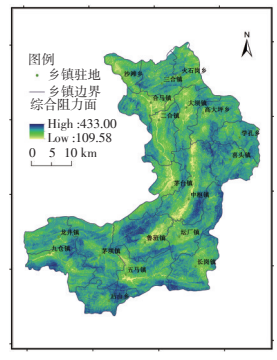


图1　耕地整治影响因子综合阻力面

审图号：黔S(2024)010号

2.2　最小累积阻力面的生成

以综合阻力面为基础，采用改进MCR模型和ArcGIS软件的Cost-distance模块分别模拟一级源、二级源和三级源扩张过程中对应的累积最小阻力面，得到3张累积阻力面栅格图；再利用ArcGIS软件的栅格计算器模块叠加3张栅格图，最终得到一张不同等级源对应的综合最小累积阻力面。最小累积阻力面反映的是不同禀赋耕地在向外扩展过程中所要克服的耕地整治累积阻力，由图2可知，局部范围内影响耕地整治的最小累积阻力值总体上以源为中心，从小到大依次向外围辐射，同时受到景观基面异质性的影响，阻力值在高海拔、高植被覆盖度地区产生突变；在整体范

围内累积阻力低值聚集区沿东南—西北方向大致呈3级台阶状分布，累积阻力高值区在各级台阶连接处聚集形成西南—东北方向的突变带。仁怀市从东南到西北地势依次降低，大致呈弧状，可分为中山、低山、低山河谷3种地形，这种特殊的地形地势结构导致了该分布格局。最小累积阻力的分布格局基本与宏观地貌格局相吻合。

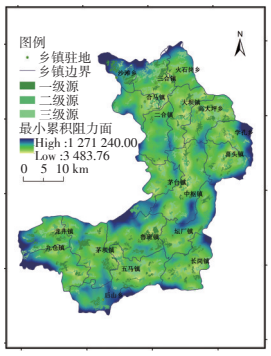


图2 研究区耕地扩展最小累积阻力面

审图号：黔S(2024)010号

2.3 耕地整治时序分区

耕地整治需在集中连片的基础上，遵循先易后难的原则。首先，应选择整治阻力较小、投入劳动少、资金回报率高的区域，摒弃多点开花的模式，便于集中力量整合有限的资金和人力资源，做好土地资源优化配置；其次，耕地整治潜力是在一定社会经济和技术条件下表现出来的相对潜力，因此是一个循序渐进的过程，耕地整治时序分区就是要解决“什么时候整治”的问题，做好耕地整治时序分区工作有利于指导全域土地整治规划的合理进行。本文结合仁怀市实际，利用自然断裂点[17-18]分级法，按累计阻力从小到大将研究区划分为优先整治区、优化整治区、限制整治区和禁止整治区（图3），前3个分区为时序分区，在时间维度上依次进行，禁止整治区为生态功能涵养区，禁止任何时间、任何形式的

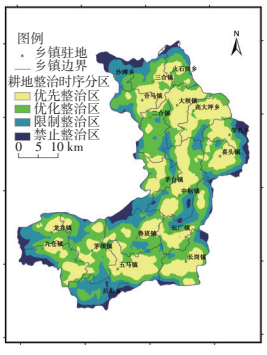


图3 研究区耕地整治时序分区

审图号：黔S(2024)010号

土地整治活动。

1）优先整治区。在空间范围内，优先整治区体现了较好的集中连片性，主要分布在北部低山河谷地区的合马、大坝和高大坪组团，中部低山地区的中枢、鲁班和坛厂组团，南部低山河谷地区的茅坝、五马和长岗聚集带，涉及面积为638.11 km^2，占比为35.65%。在岩溶山区山高坡陡、地形破碎的整体环境下，该区域内耕地分布相对集中，坝地数量也多于其他地区，且水热条件较好，灌溉、交通等基础设施较完善，是仁怀市粮油主产区。因此，该区域开展耕地整治工作阻力较小，基本途径是继续完善农田水利、生产道路等基础设施，加强集中连片高标准基本农田建设，并在“三区三线”的控制下划定一定数量的永久性基本农田，实现粮食安全和耕地可持续发展的目标。

2）优化整治区。优化整治区主要分布在低山河谷向中低山过渡的谷坡地带，涉及面积为669.25 km^2，占比为37.39%，作为耕地后备资源的主要来源区，承担着补充新增耕地的任务。该区域坡度较大，坡耕地分布较广泛，有部分水田分布，但灌溉条件较差，基本处于靠降雨维持灌溉的状态。该区域的整治定位应为耕地后备资源补充区，近期不宜实施耕地整治工程，避免整治不当造成水土流失。在未来经济技术条件许可的情况下，可在资源禀赋较好和外部条件成熟的区域进行旱地坡改梯工程，发展现代山区立体农业。

3）限制整治区。限制整治区大多位于禁止整治区外围的缓冲地带，涉及面积为371.95 km^2，占比为20.78%，区域溶蚀性丘陵峰丛洼地发育强烈。耕地分布最大的特点为地块破碎、坡度大且分布零散，可利用水资源匮乏。近年来国家实行退耕还林还草工程，该区域植被覆盖度大幅提升，但由于岩溶植被破坏后恢复难度极大，因此不适宜进行大面积耕地整治活动，未来可挑选面积较大、区位条件较好的洼地发展山地观光农业和有机农业。

4）禁止整治区。区域内高海拔地区山系组成的生态屏障带构成了禁止整治区，涉及面积为110.62 km^2，占比为6.18%，区域地形复杂、植被覆盖度高，多为赤水河、盐津河、五马河和桐梓河等河流支流源头，是重要的水源保护区和生态涵养区。该区域对于维持生物多样性、生态系统结构稳定性和生态系统服务价值具有重要意义，禁止任何形式的土地开发整治

活动。

3 结 语

本文以仁怀市为例，引入景观生态学“源—汇”理论，采用改进MCR模型，从自然因素限制、生态环境限制和社会经济限制3个维度建立综合阻力面，模拟得到耕地扩展过程中所需克服的累积阻力，从而对耕地整治时序进行分区。

1）以全域土地综合整治建设要求为目标导向，充分考虑不同等级耕地源扩张能力的差异，在宏观尺度上客观有效地模拟了耕地整治工作在空间上的难易程度，累积阻力值在空间格局上呈现“北易南难”的异质性分布特征。该方法完善了耕地整治时序评价方法体系，为喀斯特地区全域土地综合整治规划、生态修复和耕地进出平衡项目规划提供了新的思路和依据。

2）整治时序分区综合考虑了影响耕地整治各类阻力因子在空间上的垂直叠加效应和水平扩张效应，在全域角度充分利用栅格数据插值模拟计算的优势，打破了传统潜力分区类项目以行政界线为分区边界的做法，为后续该类项目的合理分区提供了科学的理论依据和技术支撑。

3）依据自然断裂点分级法，以阻力值大小为耕地整治时序分区的依据，提出不同分区的管控措施，使分区规划更具针对性。将研究区耕地扩展最小累积阻力面分为优先整治区、优化整治区、限制整治区和禁止整治区，阻力值依次增大，前3个分区为时序分区，耕地整治项目可依次进行。

利用改进MCR模型，选择多源异构数据来模拟耕地整治时序，各类数据精度不一致，将在一定程度上影响最终模拟结果；且本文基于县域尺度进行研究，如何在更小尺度（乡镇级或村级）上展开研究需要进一步分析。

参考文献

[1] 唐秀美,潘瑜春,刘玉,等. 基于耕地系数和预评价法的耕地整治潜力测算方法[J]. 农业工程学报,2014,30(1):211-218

[2] 白畯文,魏朋,吴小东. 面向土地整治工程的耕地适宜性评价方法研究[J]. 地理空间信息,2021,19(10):44-48

[3] 郭笑东,陈利根,毕如田,等. 基于生态位理论的黄土丘陵区耕地整治优先度及模式研究[J]. 水土保持通报,2019,39(1):184-190

[4] 刘光盛,赵乐松,程迎轩,等. 基于限制因子的粤北丘陵山区耕地宜机化整治分区[J]. 农业工程学报,2021,37(12):262-270

[5] 贾旭飞,郑建乐,孙凯,等. 基于农用地分等成果的耕地质量提升潜力及整治分区[J]. 中国农业信息,2021,33(4):62-72

[6] 杨绪红,金晓斌,盛修深,等. 综合适宜性与迫切性的非粮化耕地整治分区方法[J]. 农业工程学报,2022,38(15):287-296

[7] 毕庆生,裴贝贝,计忠飙,等. 基于最小阻力模型的村域土地资源优化利用布局研究:以栾川县三川镇部分村庄为例[J]. 中国农业资源与区划,2022,43(9):148-157

[8] 冯锐,吴克宁,王倩. 四川省中江县高标准基本农田建设时序与模式分区[J]. 农业工程学报,2012,28(22):243-251

[9] 杨绪红,金晓斌,郭贝贝,等. 基于最小费用距离模型的高标准基本农田建设区划定方法[J]. 南京大学学报(自然科学),2014,50(2):202-210

[10] 薛剑,韩娟,张凤荣,等. 高标准基本农田建设评价模型的构建及建设时序的确定[J]. 农业工程学报,2014,30(5):193-203

[11] Kaaapen J P, Scheffer M H B. Estimating Habitat Isolation in Landscape[J]. Landscape and Urban Planning, 1992,23(1):1-16

[12] 俞孔坚,黄刚,李迪华,等. 景观网络的构建与组织:石花洞风景名胜区景观生态规划探讨[J]. 城市规划学刊,2005(3):76-81

[13] 陈利顶,傅伯杰,徐建英,等. 基于“源—汇”生态过程的景观格局识别方法:景观空间负荷对比指数[J]. 生态学报,2003,23(11):2 406-2 413

[14] 刘孝富,舒俭民,张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用:以厦门为例[J]. 生态学报,2010,30(2):421-428

[15] 叶玉瑶,苏泳娴,张虹鸥,等. 生态阻力面模型构建及其在城市扩展模拟中的应用[J]. 地理学报,2014,69(4):485-496

[16] 金妍,车越,杨凯. 基于最小累积阻力模型的江南水乡河网分区保护研究[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(1):8-14

[17] 冯电军,沈陈华. 基于扩展断裂点模型的农村居民点整理布局优化[J]. 农业工程学报,2014,30(8):201-209

[18] 王伟娜,杨瑞华,赵亚红. 基于ArcGIS的交通设施应急基地服务绩效评价分析与研究[J]. 地理空间信息,2023,21(4):30-33