

# 基于不同分辨率影像的山区耕地细碎化评价及其尺度效应

任红玉<sup>1</sup>, 赵宇鸾<sup>1,2</sup>, 李秀彬<sup>2</sup>, 葛玉娟<sup>1</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 研究耕地细碎化的尺度效应对山区耕地细碎化遥感监测、耕地整治与可持续利用具有重要意义。选取贵州省坝区孙家村、丘陵区亚鱼村和山地区小坝村3个不同地貌背景的典型村为案例区,在构建细碎化测度模型基础上,量化分析0.1 m、1 m、2 m、5 m、10 m分辨率下耕地细碎化程度的尺度效应。研究结论:①随着影像分辨率下降,不同地貌背景下的耕作地块特征有明显的尺度效应。②不同地貌背景下的耕地细碎化程度存在差异,丘陵区的细碎化程度最高,坝区次之,山地区最低。不同影像分辨率下的耕地细碎化程度具有明显的尺度效应,3个典型村的耕地细碎化指数均呈现幂函数式下降;且不同地貌背景的耕地细碎化程度对尺度变化响应程度不同,坝区的耕地细碎化粒度响应最为强烈,丘陵区次之,山地区最弱。③以前1个尺度为参照计算耕地细碎化程度的损失精度时,坝区和丘陵区的耕地细碎化程度在影像分辨率由2 m变为5 m时最敏感,山地区小坝村对尺度变化的敏感度从2 m处呈现升高趋势;以基础尺度为参照时,丘陵区的耕地细碎化程度对尺度变化的敏感度最高,山地区次之,坝区最低。研究旨在为山区的耕地细碎化调查、评价以及治理提供借鉴。

**关键词:** 耕地细碎化;农户视角;尺度效应;山区;贵州

DOI: 10.11821/dljy020190863

## 1 引言

耕地细碎化是中国耕地资源开发利用的典型特征<sup>[1,2]</sup>,是与耕地规模经营相悖的一种耕地资源利用格局<sup>[3,4]</sup>。特别在中国贵州山区,地形以山地丘陵地貌为主,导致该地区耕地资源更加分散,耕地细碎化格局更为显著。耕地细碎化会阻碍农业规模化、专业化、机械化,导致农业生产成本增加、农业规模效益降低<sup>[5,6]</sup>。因此,为保障乡村振兴背景下农业产业发展耕地需求,促进山区细碎耕地资源科学整治,亟待加强山区耕地细碎化程度遥感调查、评价研究。

近年来,耕地细碎化调查、评价的研究有中观尺度景观视角和微观尺度农户视角,两者的区别在于:一是研究视角的差异。前者重视耕地景观斑块尺度研究,是选取一个或者多个景观格局指数反映中观尺度下耕地斑块破碎化的特征<sup>[7,8]</sup>;后者强调耕地的经营主体差异,以农户经营耕作地块空间分布状况指标表征农户的耕地细碎化程度<sup>[9-11]</sup>。二是

收稿日期: 2019-09-29; 修订日期: 2019-12-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771115); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5726号); 教育部人文社科研究项目(18YJC850010); 2015年贵州省“千”层次创新型人才资助项目(111-0317003)

作者简介: 任红玉(1996-),女,贵州遵义人,硕士研究生,研究方向为土地资源利用与管理。

E-mail: 1304253465@qq.com

通讯作者: 赵宇鸾(1985-),男,江西丰城人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为土地利用与山区发展。

E-mail: zhaoyl.09b@igsnrr.ac.cn

数据来源的不同。中观尺度景观视角的数据源主要利用TM遥感影像或自然资源部门土地利用数据,其数据获取途径多,适用于较大的研究区域,但空间分辨率较低,解译的耕地多为耕地景观斑块,利于分析耕地景观的生态效应<sup>[12]</sup>;微观农户尺度多采用参与式调查方法获取土地整治项目区或村庄中农户耕地细碎化数据<sup>[13,14]</sup>。农户是中国耕地最主要的经营主体<sup>[15]</sup>,基于农户视角构建耕地细碎化测度模型更为合理。近年来,随着无人机航拍技术的发展,已有学者尝试采用高分辨率无人机技术获取土地整治项目区或村庄中农户耕地空间分布信息,提取的农户耕作地块空间信息准确,利于分析农户耕地细碎化对土地利用的影响。但采集影像成本高,且使用的空间范围小<sup>[16]</sup>。为实现县域乃至更大区域耕地资源细碎化水平快速、准确、经济的遥感识别与动态监测,迫切需要发挥无人机高分辨率影像精度高的优势和其他分辨率较低影像数据的成本低、数据易获取、监测范围广的优势,探讨不同空间分辨率的区域耕地细碎化评价的尺度效应。现有尺度效应的研究成果大都分析的是不同分辨率影像耕地景观斑块细碎化的尺度效应<sup>[17-20]</sup>,下一步应从高分辨率影像下微观农户耕作地块细碎化入手,探讨不同影像分辨率的耕地细碎化评价的尺度效应。其次,土地整治作为减轻耕地细碎化的有效方式<sup>[21]</sup>,划定土地整治项目区需要兼顾行政村的完整性,以便政策、工程措施的实施,因此以行政村为评价单元评估耕地细碎化程度利于村庄或土地整治项目区耕地的连片整治和规模化经营<sup>[22]</sup>。同时,贵州山区地貌类型多样,地貌起伏特征决定了山区内部仍存在坝区、丘陵和山地的地貌差异,并在很大程度上制约着人类土地利用方式和细碎化格局<sup>[23]</sup>;且前人研究区域中观耕地景观斑块时发现,不同地貌背景下的耕地细碎化存在显著差异<sup>[7,24]</sup>。厘清山地区域内坝区、丘陵、山地等不同地貌背景下微观农户耕地细碎化的尺度效应的差异,以期为贵州山区不同地貌特征的区域耕地细碎化评价以及合理利用、耕地资源整治提供参考。

鉴于此,本研究以贵州省典型村为案例区,根据地形起伏梯度差异分别选择坝区孙家村、丘陵区亚鱼村、山地区小坝村作为样本村。通过构建耕地细碎化测度模型,并以无人机高分辨率影像0.1 m为基础研究尺度,探讨微观农户视角耕地细碎化现象存在的尺度效应,并分析不同分辨率下不同地貌区的细碎化程度尺度效应差异,旨在为山区耕地细碎化的调查、评价及整治提供理论依据和实践指导。

## 2 研究区概况

贵州省地处中国西南地区,属亚热带湿润季风气候,地貌主要以高原、丘陵、山地和盆地(坝子)为主。喀斯特分布面积为10.91万km<sup>2</sup>,占全省国土总面积的73.8%<sup>[25]</sup>,属于《全国生态脆弱区保护规划纲要》划定的西南岩溶山地石漠化生态脆弱区。石多土少的石漠化山区耕地更为珍贵,甚至有“一个斗笠盖住一块地”之说,形象地描述了耕地资源的细碎和零散状况。近年来,贵州省经济社会发展迅速,建设用地需求量持续增长,耕地资源数量不断下降<sup>[26]</sup>,土地景观进一步破碎化<sup>[27]</sup>,耕地细碎化问题突出,为耕地细碎化研究提供了典型样本。

为对比分析贵州山区不同地貌类型区耕地细碎化程度、尺度效应的差异,选取坝区孙家村、丘陵区亚鱼村和山地区小坝村作为研究案例区(图1)。孙家村隶属于贵州省沿河土家族自治县,距离县城14 km,海拔477~1021 m。该村是典型的坝子,地势平坦,耕地成片分布。全村土地面积为2.57 km<sup>2</sup>,其中耕地面积占0.41 km<sup>2</sup>,耕地地块总数为1113块。该村耕地利用以种植经济作物李子为主,农业经济发展水平较高;农业机械以小型微耕机为主。亚鱼村隶属于贵州省玉屏侗族自治县,距县城53 km,海拔位于577~

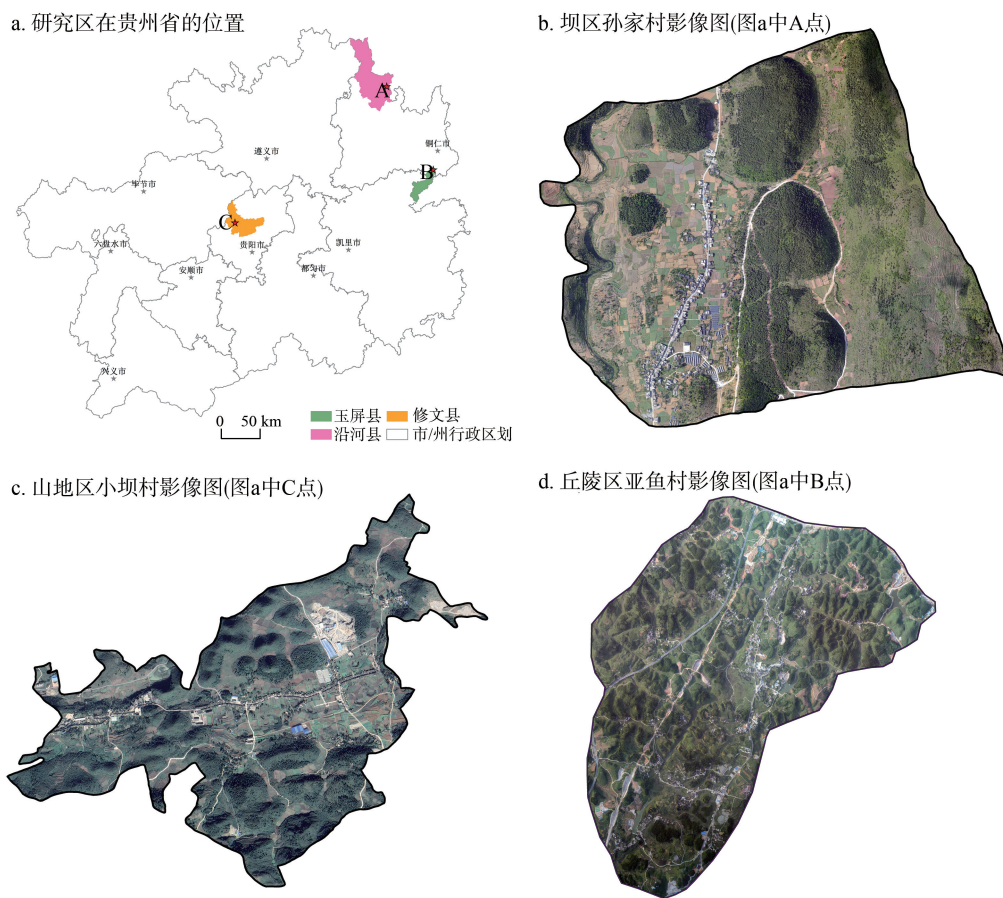


图1 典型村影像图

Fig. 1 Image map of typical villages

765 m。该村属丘陵地貌，耕地以坡耕地为主，呈鱼鳞状分布。全村土地面积 $15\text{ km}^2$ ，耕地面积 $3.79\text{ km}^2$ ，耕地地块总数为9376块。农业种植作物以传统的水稻和玉米为主，农业机械以小型微耕机和小型抽水机为主，是典型的农业村。小坝村隶属于贵州省修文县，距离县城86 km，海拔1122~1250 m。该村地形起伏大，沟谷多呈脉状分布，是典型的山地区。全村土地面积为 $4.7\text{ km}^2$ ，其中耕地面积 $1.04\text{ km}^2$ ，耕地地块总数为966块，多分布于坝地或坝周山地缓坡地带。该村农作物以玉米和蔬菜为主，农业机械以小型微耕机为主。

### 3 数据来源与研究方法

#### 3.1 数据来源与处理

3个典型村的遥感影像数据来源于无人机航拍影像图（像元空间分辨率达到0.1 m）和GoogleEarth Level 14、Level 16、Level 17、Level 18共计5景数据，其中3个行政村的无人机航拍影像均经过校正、拼接等预处理；Google Earth数据从91卫图助手下载。为了便于分析尺度效应的影响，满足影像分辨率的梯度差异，对Google Earth数据进行重采样处理，重采样后分辨率分别是1 m、2 m、5 m和10 m，具体数据参数如表1所

表1 不同像元分辨率影像来源及获取时间

Tab. 1 Different pixel resolution image sources and acquisition time

序号	影像来源	原始分辨率(m)	重采样分辨率(m)	采集时间(年-月-日)		
				小坝村	亚鱼村	孙家村
1	无人机航拍影像	0.10	-	2017-07-17	2018-06-10	2018-07-15
2	Google Earth (Level 18)	0.53	1	2017-10-29	2018-10-28	2014-11-04
3	Google Earth (Level 17)	1.03	2	2017-10-29	2018-10-28	2014-11-04
4	Google Earth (Level 16)	2.13	5	2017-10-29	2018-10-28	2014-11-04
5	Google Earth (Level 14)	8.52	10	2017-10-29	2018-10-28	2014-11-04

示。为构建3个行政村地表空间信息数据库,提取3个行政村的宅基地、耕地、道路等要素,并运用ArcGIS空间分析工具和网络分析工具搭建包含通村路、机耕路、田埂等的道路路网。本研究以无人机航拍影像的目视解译结果作为标准,对其他不同分辨率的影像进行目视解译,并对解译结果进行验证。无人机航拍影像解译精度达到94.36%,1 m影像的解译精度为93.28%,2 m为91.35%,5 m为89.12%,10 m为86.89%,解译效果满足研究需求。

为了构建涵盖耕地、宅基地空间信息和权属信息的耕地细碎化研究数据库,在2018年1月—2019年3月间,对3个典型村开展入村调研。采用参与式调查法对村长、村民小组长进行访谈。对不同村民小组农户进行分层随机抽样开展农户调查,将样本农户耕地地块和宅基地权属信息关联,构建了3个样本村无人机尺度耕地细碎化数据库,在此基础上,构建其他尺度的耕地细碎化数据库。

### 3.2 研究方法

**3.2.1 耕地细碎化测度模型** 目前,基于农户视角对耕地细碎化程度的测度,学者们多选择用地块规模、地块密度、地块形状以及耕作距离等变量来表述细碎化程度<sup>[28,29]</sup>。其中耕地的耕作距离是影响农户行为决策的关键因素<sup>[28,16]</sup>,随着耕地的耕作距离增加,运输成本提高、劳动力投入增多、土地利用效率降低。当耕作价值下降为零时,农户会选择抛荒。在贵州山区,由于人地关系紧张,相比地块耕作面积和地块形状等指标,耕作距离是导致农户地块抛荒的主要原因<sup>[30]</sup>。

首先,对于耕作距离的表征,学者们多采用地块间的平均距离进行描述。值得注意的是,农户是耕地的主要经营主体,农宅具有农业生产功能,比如脱粒、晾晒、储存等环节都需要在农宅完成。因此,从农户的角度衡量细碎化水平时,使用农户宅基地到地块的距离更能准确地反映农户层面的耕作地块空间分布。其次,平均距离不能完全反映出农户所有地块的分散程度(图2)。从图2可以看出,农户A拥有3块耕地,通勤距离分别为1000 m、800 m、1200 m,即农户A的平均通勤距离为1000 m;农户B拥有1块耕地,平均通勤距离为1000 m。虽然农户A和农户B的平均通勤距离相等,但是地块的分散程度不同。因此,所有地块的通勤距离总和对农户耕作地块的细碎、空间分布特征刻画更准确。最后,学者们主要以农户宅基地的中心点到地块中心点的直线距离计算耕作距离。但是在贵州山区,由于地形复杂,农户宅基地到地块之间道路的网络特征明显,因此用直线距离表示耕地地块的分散性低估了农户耕地细碎化程度<sup>[16]</sup>。

综上,在贵州山区,选取农户宅基地到农户所有耕作地块的道路网络距离总和来测度耕地细碎化程度更为适用。道路网络距离的总和不仅表征了通勤距离,也表征了农户经营的地块数量(农户经营的地块数量越多,道路网络距离越长)和地块形状(地块的形状越规整,道路网越简化,道路网络距离越短)。农户耕地细碎化指数计算公式如下:

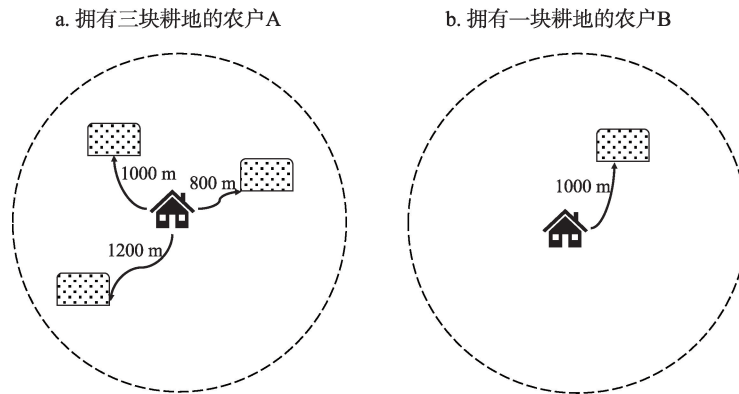


图2 两种情景的通勤距离描述

Fig. 2 Description of commute distance in two scenarios

$$LFI = \sum_{i=1}^k S_i \quad (1)$$

式中:  $LFI$  为农户耕地细碎化指数;  $k$  为某农户地块数;  $S_i$  为农户地块  $i$  到其宅基地的道路网络距离, 宅基地到耕作地块的道路网络距离越长, 农户耕地细碎化程度越高。

村庄或土地整治项目区耕地细碎化指数为农户耕地细碎化指数的平均值。计算公式如下:

$$CLFI = \frac{\sum_{j=1}^m LFI_j}{m} \quad (2)$$

式中:  $CLFI$  为村庄或土地整治项目区耕地细碎化指数;  $LFI_j$  为  $j$  农户的耕地细碎化指数;  $m$  为村庄或土地整治项目区的农户户数。  $CLFI$  的取值范围为  $(0, +\infty)$ , 其值越大, 该村庄或土地整治项目区的耕地细碎化程度越高。随着影像分辨率下降, 耕地地块减少, 农户宅基地斑块融合, 村庄或土地整治项目区细碎化指数为村庄或土地整治项目区所有农户宅基地的中心点到所有耕地地块的网络距离除以村庄或土地整治项目区农户户数的均值。

不规则的地块形状影响着地块的机械化, 本文选择以正方形为标准的形状指数定量描述地块形状。计算公式<sup>[24]</sup>如下:

$$LSI = \frac{\sum_{n=1}^k \frac{C_n}{4\sqrt{A_n}}}{k} \quad (3)$$

式中:  $LSI$  为农户的地块形状指数;  $C_n$  为  $n$  地块的地块周长;  $A_n$  为  $n$  地块的地块面积。当  $LSI$  为 1 时, 说明该地块形状为正方形;  $LSI$  越大, 表明形状越不规整, 越不适宜机械化耕作。

**3.2.2 耕地细碎化损失精度** 耕地格局具有典型的空问异质性和尺度依赖性, 进行耕地细碎化的尺度效应研究, 对不同尺度之间的数据和信息进行尺度转换具有重要意义。尺度转换方法的应用关键在于准确分析研究目的, 承担一部分信息歪曲和信息丢失的代价, 减少对研究目标有重大影响要素的信息损失量<sup>[31,32]</sup>。信息守恒评价方法是以尺度转换前的数据为基准, 将尺度转换后各目标尺度下的数据进行比较, 得到不同尺度数据损失的绝对值或相对值<sup>[33]</sup>。损失精度越小, 则意味着该尺度转换方法越好, 对尺度变化的敏感性越小。计算公式如下:

$$E = |\Delta L(j, i)| = \left| \frac{(L_j - L_i)}{L_i} \right| \quad (4)$$

式中： $E$ 表示耕地细碎化程度随分辨率变化的损失精度； $L_j$ 表示尺度转换前的耕地细碎化程度； $L_i$ 表示尺度转换后的耕地细碎化程度。本文计算了不同尺度与其前一尺度、不同尺度与基础尺度的耕地细碎化程度变化度，得到基于耕地细碎化尺度变化的损失精度。

## 4 结果分析

### 4.1 不同影像分辨率耕地特征

为初步评估3个典型村的耕地细碎化程度，对不同分辨率的耕地解译结果进行了数据统计，从地块数量、平均地块面积和地块形状3个方面进行描述（表2）。从地块数量来看，在0.1 m分辨下，农户平均地块数量最多的是亚鱼村，为12.738块；最少的是小坝村，为4.534块，两者相差8.204块，区域差异显著。从平均地块面积来看，在0.1 m分辨下，平均地块面积最大的是山地区小坝村，面积为0.113 hm<sup>2</sup>；其次是丘陵区亚鱼村为0.046 hm<sup>2</sup>，坝区孙家村最少，为0.039 hm<sup>2</sup>。从地块形状来看，3个典型村的地块形状指数均高于1，3个典型村整体偏离同等面积下的正方形形状，形状较为不规则。特别是亚鱼村位于丘陵区，地形崎岖，在0.1 m分辨率下，亚鱼村的地块形状指数达到了1.346，地块形状极其不规则。对应的地块形状指数最小的是孙家村，为1.124。这是由于孙家村位于坝区，拥有较好的耕地资源，地势较为平整，地块形状规则。

随着影像分辨率的下降，3个典型村的农户地块特征的遥感识别精度均呈现下降趋势。3个典型村的地块数量均减少，丘陵区亚鱼村的下降幅度最大，降幅为8.196块，坝区孙家村次之，降幅为5.627块，山地区小坝村最小，降幅仅为3.315块，即不同地貌的地块数量对尺度变化的敏感性不一致，丘陵区>坝区>山地区。同时，3个典型村的平均地块面积在增大，其中山地区小坝村的增幅最大，从0.113 hm<sup>2</sup>增加到0.420 hm<sup>2</sup>，增幅为0.307 hm<sup>2</sup>；其次是坝区孙家村从0.039 hm<sup>2</sup>增大到0.166 hm<sup>2</sup>，增幅为0.127 hm<sup>2</sup>；丘陵区亚鱼村的增幅最小，从0.046 hm<sup>2</sup>增大到0.129 hm<sup>2</sup>，增幅仅为0.083 hm<sup>2</sup>，即不同地貌区的平均地块面积的尺度敏感性为山地区>坝区>丘陵区。丘陵区亚鱼村的地块形状指数从1.346降低到1.217。说明丘陵区的地块形状对尺度敏感性较大；坝区孙家村的地块形状

表2 3个典型村在不同分辨率下的耕地特征

Tab. 2 Characteristics of cultivated land at different resolutions in three typical villages

耕地特征	案例区	不同分辨率下的耕地特征				
		0.1 m	1 m	2 m	5 m	10 m
农户平均 地块数(块)	坝区孙家村	7.360	6.714	5.048	3.714	1.733
	丘陵区亚鱼村	12.738	9.786	8.643	6.846	4.542
	山地区小坝村	4.534	3.653	3.049	2.360	1.219
地块平均 面积(hm <sup>2</sup> )	坝区孙家村	0.039	0.043	0.057	0.077	0.166
	丘陵区亚鱼村	0.046	0.060	0.068	0.086	0.129
	山地区小坝村	0.113	0.140	0.168	0.217	0.420
地块形状	坝区孙家村	1.124	1.135	1.047	1.026	1.014
	丘陵区亚鱼村	1.346	1.328	1.284	1.231	1.217
	山地区小坝村	1.235	1.255	1.172	1.120	1.203

指数从1.124降低到1.1014, 形状接近正方形; 山地区小坝村的地块形状随着分辨率的降低没有明显变化, 曲线基本保持水平, 说明山地区的地块形状对尺度敏感性相对较小。

#### 4.2 不同影像分辨率的耕地细碎化程度

根据公式(1), 获得0.1 m、1 m、2 m、5 m和10 m共5个分辨率下的耕地细碎化指数(表3)。坝区孙家村耕地细碎化水平分别为: 3942.32、2596.00、1822.73、1035.43、599.08, 山地区小坝村分别为: 2939.98、1794.57、1444.72、938.40、435.59, 丘陵区亚鱼村分别为: 8204.86、6514.30、4718.82、2317.62、1020.70。可以看出, 5个分辨率下丘陵区亚鱼村的耕地细碎化程度均高于坝区孙家村和山地区小坝村, 其中0.1 m分辨率下亚鱼村是孙家村的2.08倍, 是小坝村的2.79倍。

计算不同影像分辨率下农户耕地细碎化程度, 运用SPSS软件进行数理统计及尺度检测图的绘制, 对5个空间尺度的耕地细碎化程度进行多尺度格局分析, 以直观反映耕地细碎化程度的尺度效应(图3)。分析得出, 随着影像分辨率降低, 3个典型村的耕地细碎化指数均呈现幂函数式下降, 即分辨率下降, 耕地细碎化程度被低估。这是由于随着影像分辨率降低, 解译的耕地结果发生从0.1 m的单个耕作地块向较大空间分辨率的多个耕作地块组成的耕地景观斑块变化, 导致在空间分布格局上呈现耕地块数趋于减少, 耕作地块面积趋于增加, 耕地地块形状趋于规整的变化规律。即耕地的块数不断减少, 路网不断简化, 道路网络距离变短, 地块的分散性表征不明显, 其耕地细碎度减小。

为了定量描述3个典型村在不同影像分辨率下耕地细碎化指数的变化趋势, 对5个分辨率下耕地细碎化指数进行回归分析发现, 可通过三项式函数对其变化进行精准预测(图3)。其中, 坝区孙家村、丘陵区亚鱼村、山地区小坝村的 $R^2$ 系数分别0.998、0.998、0.995, 拟合效果达到显著性相关, 这说明3个典型村的耕地细碎化指数对尺度变化的响应具有明显的规律性。其次, 为充分了解不同地貌背景的耕地细碎化程度随尺度变化的差异性, 分别计算了3个典型村的细碎化指数随尺度变化的变异系数。其中, 坝区孙家村的变异系数最大, 为0.594; 其次是丘陵区亚鱼村, 变异系数为0.578; 山地区小坝村

表3 不同影像分辨率下3个典型村耕地细碎化指数

Tab. 3 Fragmentation index of three typical villages at different image resolutions

案例区	不同分辨率下的耕地细碎化指数				
	0.1 m	1 m	2 m	5 m	10 m
坝区孙家村	3942.32	2596.53	1822.73	1035.43	599.08
丘陵区亚鱼村	8204.86	6514.30	4718.82	2317.62	1020.70
山地区小坝村	2939.98	1794.57	1444.72	938.40	435.59

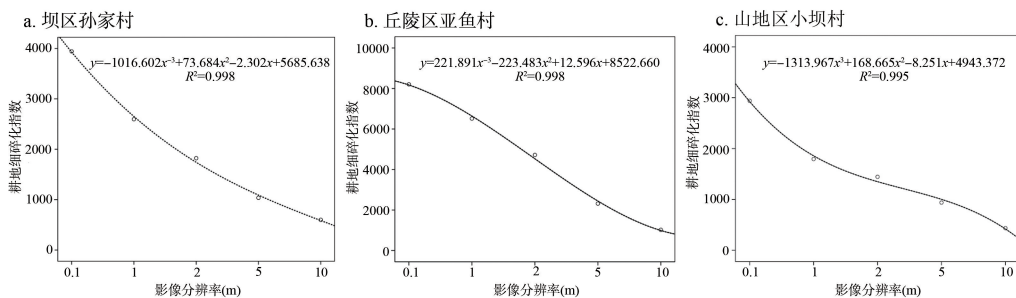


图3 3个典型村耕地细碎化指数的尺度效应曲线拟合

Fig. 3 Scale effect curve fitting of cultivated land fragmentation index of three typical villages

最小, 变异系数为0.563。即坝区孙家村的耕地细碎化粒度响应最为强烈, 丘陵区亚鱼村次之, 山地区小坝村最弱。

为定量识别耕地细碎化对于尺度变化的敏感度, 将0.1 m分辨率设定为基础尺度, 根据公式(4), 计算不同尺度与其前一尺度、不同尺度与基础尺度的耕地细碎化的变化度, 得到细碎化程度对于尺度变化的损失精度(表4)。

以前一个尺度为参照时, 3个典型村的耕地细碎化损失精度呈现不同的趋势(表4)。坝区孙家村1 m的损失精度为0.52, 2 m、5 m时呈现先降低后升高趋势, 且震荡幅度较大; 10 m的损失精度则呈现降低趋势。丘陵区亚鱼村1 m的损失精度为0.26, 其他尺度损失精度呈现持续升高趋势。山地区小坝村1 m的损失精度为0.64, 其他尺度损失精度呈现先降低后升高趋势。从损失精度的斜率来看, 坝区孙家村和丘陵区亚鱼村的耕地细碎化程度在影像分辨率由2 m变为5 m时最敏感, 而山地区小坝村对尺度变化的敏感度从2 m处呈现升高趋势。

当以基础尺度(0.1 m)为参考对比时, 随着影像分辨率降低, 3个典型村的耕地细碎化损失精度均呈现升高趋势。其中丘陵区亚鱼村变化最为敏感, 损失精度最大, 由0.26快速增长到7.04, 增幅为7.014, 增速最快; 其次是山地区小坝村, 损失精度由0.64增长到5.75, 增幅为5.11, 增速次之; 相对于丘陵区亚鱼村和山地区小坝村, 坝区孙家村的损失精度变化相对不明显, 由0.52增长到5.58, 增幅仅为5.06, 增速最小。这表明影像分辨率由0.1 m变为10 m时, 丘陵区亚鱼村的耕地细碎化程度对尺度变化的敏感度最高, 山地区小坝村次之, 坝区孙家村最低。

表4 不同尺度耕地细碎化程度损失精度

Tab. 4 Loss accuracy of cultivated land fragmentation at different scales

案例区	损失精度	影像分辨率				
		0.1 m	1 m	2 m	5 m	10 m
坝区孙家村	前一尺度	0	0.52	0.42	0.76	0.73
	基础尺度	0	0.52	1.16	2.81	5.58
丘陵区亚鱼村	前一尺度	0	0.26	0.38	1.04	1.27
	基础尺度	0	0.26	0.74	2.54	7.04
山地区小坝村	前一尺度	0	0.64	0.24	0.54	1.15
	基础尺度	0	0.64	1.03	2.13	5.75

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本文结合贵州山区实际, 选取不同地貌区的3个典型村, 利用无人机与Google Earth数据, 探讨不同影像分辨下的耕地细碎化程度存在的尺度效应。主要结论如下:

(1) 随着影像分辨率下降, 3个典型村的农户地块特征的遥感识别精度均呈现下降趋势。由不同影像分辨率下的耕地解译结果可以看出, 不同地貌区的地块数量、平均地块面积、地块形状有明显的尺度效应。

(2) 运用农户宅基地到耕作地块的网络道路距离来测度山区耕地细碎化程度是可行的。不同地貌背景下的耕地细碎化存在差异, 在0.1 m分辨率下, 丘陵区亚鱼村的耕地细碎化程度最高, 坝区孙家村次之, 山地区小坝村最低。其次, 不同影像分辨率下的耕地细碎化程度具有明显的尺度效应。随着影像分辨率降低, 3个典型村的耕地细碎化指



数均呈现幂函数式下降, 其变化可用三项式函数进行拟合。此外, 不同地貌背景的耕地细碎化程度对尺度变化响应程度不同, 其中, 坝区孙家村的耕地细碎化粒度响应最为强烈, 丘陵区亚鱼村次之, 山地区小坝村最弱。

(3) 采用不同影像分辨率下耕地细碎化程度的损失精度进一步定量识别不同地貌背景的细碎化评估结果差异, 结果表明: 以前1个尺度为参照时, 坝区孙家村和丘陵区亚鱼村的耕地细碎化程度在影像分辨率由2 m变为5 m时最敏感, 而山地区小坝村对尺度变化的敏感度从2 m处呈现升高趋势; 以基础尺度为参照时, 丘陵区亚鱼村的耕地细碎化程度对尺度变化的敏感度最高, 山地区小坝村次之, 坝区孙家村最低。

## 5.2 讨论

目前, 学者们对于耕地细碎化的内涵尚未统一, 衡量方法也不尽相同, 不同区域适用的测度模型需要根据研究区实际情况选取。从研究结果来看, 运用农户耕作地块到其他基地的道路网络距离来测度耕地细碎化, 能够反映山区村庄或土地整治项目区农户耕作地块资源禀赋的差异。同时, 尝试结合高分辨率和其他分辨率影像来探讨耕地细碎化存在的尺度效应。这主要有两个目的: 一是为揭示无人机到其他分辨率影像下不同地貌背景下耕地所表现出的细碎化现象评价结果的演变规律, 二是探讨高分辨影像和其他较低分辨率之间的耕地细碎化程度存在的尺度效应。这对利用自然资源部门现有土地影像数据资源较丰富的优势, 并运用损失系数修正提高细碎化评价结果, 实现较低成本和快速对县域乃至省域进行耕地细碎化遥感精确评估, 对规模化导向性的国土整治规划具有较强的实践意义。未来, 针对不同地貌类型的村庄或土地整治项目区进行耕地细碎化遥感评价、规模化导向性的土地整治规划是下一步研究的重点内容。

**致谢:** 真诚感谢匿名评审专家在论文评审中所付出的时间和精力, 评审专家对本文研究思路、耕地细碎化测度模型的构建、结果分析、结论梳理方面的修改意见, 使论文质量有很大提升, 获益匪浅。

## 参考文献(References)

- [1] Buck J L. Land Utilization in China. Chicago: University of Chicago Press, 1937: 16.
- [2] 周应堂, 王思明. 中国土地零碎化问题研究. 中国土地科学, 2008, 22(11): 63-67. [Zhou Yingtang, Wang Siming. Study on the fragmentariness of land in China. China Land Science, 2008, 22(11): 63-67.]
- [3] 吕晓, 黄贤金, 钟太洋, 等. 中国农地细碎化问题研究进展. 自然资源学报, 2011, 4(3): 530-540. [Lv Xiao, Huang Xianjin, Zhong Taiyang, et al. Review on the research of farmland fragmentation in China. Journal of Natural Resources, 2011, 4(3): 530-540.]
- [4] LI X B, Wang X H. Changes in agricultural land use in China: 1981-2000. Asian Geographer, 2003, 22(1): 27-42.
- [5] 臧良震, 苏毅清. 耕地细碎化的影响: 国外研究综述与启示. 农业经济, 2018, 380(12): 76-78. [Zang Liangzhen, Su Yiqing. The impact of cultivated land fragmentation: A review and enlightenment from foreign studies. Agricultural Economy, 2018, 380(12): 76-78.]
- [6] 谭淑豪, 曲福田, 尼克·哈瑞柯. 土地细碎化的成因及其影响因素分析. 中国农村观察, 2003, (6): 24-30. [Tan Shuhao, Qu Futian, Nick H. Analysis of the causes of land fragmentation and its influencing factors. China Rural Survey, 2003, (6): 24-30.]
- [7] 李鑫, 欧名豪, 马贤磊. 基于景观指数的细碎化对耕地利用效率影响研究: 以扬州市里下河区域为例. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1758-1767. [Li Xin, Ou Minghao, Ma Xianlei. Analysis on impact of fragmentation based on landscape index to cultivated land use efficiency: A case on Lixiahe district in Yangzhou city. Journal of Natural Resources, 2011, 26(10): 1758-1767.]
- [8] 刘轩, 张小虎, 刘文轶. 村级尺度耕地细碎化测度研究. 河南大学学报: 自然科学版, 2015, 45(5): 556-561. [Liu Xuan, Zhang Xiaohu, Liu Wenkai. Study on the cultivated land fragmentation factors measure method. Journal of Henan Uni-

- versity: Natural Science, 2015, 45(5): 556-561.]
- [9] 张蚌蚌, 王数, 张凤荣, 等. 基于耕作地块调查的土地整理规划设计: 以太康县王盘村为例. 中国土地科学, 2013, 27(10): 44-50. [Zhang Bangbang, Wang Shu, Zhang Fengrong, et al. Designing the land consolidation planning based on the plot survey: A case study of Wangpan village in Ttaikang county. China Land Sciences, 2013, 27(10): 44-50.]
- [10] 文高辉, 杨钢桥, 汪文雄, 等. 基于农户视角的耕地细碎化程度评价: 以湖北省“江夏区-咸安区-通山县”为例. 地理科学进展, 2016, 35(9): 1129-1143. [Wen Gaohui, Yang Gangqiao, Wang Wenxiong, et al. Evaluation of cultivated land fragmentation degree based on farmers' perspective: A case of Jiangxia district, Xian'an district, and Tongshan county in Hubei province. Progress in Geography, 2016, 35(9): 1129-1143.]
- [11] 张海鑫, 杨钢桥. 耕地细碎化及其对粮食生产技术效率的影响: 基于超越对数随机前沿生产函数与农户微观数据. 资源科学, 2012, 34(5): 903-910. [Zhang Haixin, Yang Gangqiao. The effects of land fragmentation on technical efficiency of food production: An empirical analysis based on stochastic frontier production function and micro-data of households. Resources Science, 2012, 34(5): 903-910.]
- [12] 臧亮, 梁红颖, 梁文涛, 等. 基于景观格局的卢龙县耕地细碎化评价及影响因素研究. 水土保持研究, 2018, 25(6): 265-269, 276. [Zang Liang, Liang Hongying, Liang Wentao, et al. Cultivated land fragmentation and affecting factors of lulong county based on landscape pattern. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(6): 265-269, 276.]
- [13] 祖健, 张蚌蚌, 孔祥斌. 西南山地丘陵区耕地细碎化特征及其利用效率: 以贵州省草海村为例. 中国农业大学学报, 2016, 21(1): 104-113. [Zu Jian, Zhang Bangbang, Kong Xiangbin. Characteristic of cultivated land fragmentation and land use efficiency in southwest mountainous region: A case study of Caohai village in Guizhou province. Journal of China Agricultural University, 2016, 21(1): 104-113.]
- [14] 孙晓兵, 孔祥斌, 温良友, 等. 华北集约化农区耕地细碎化特征及其整治模式研究: 以河北曲周为例. 农业现代化研究, 2019, 40(4): 556-564. [Sun Xiaobing, Kong Xiangbin, Wen Liangyou, et al. Farmland fragmentation and its managing models of the concentrated farmland in agricultural region of North China: A case study of Quzhou county in Hebei province. Research of Agricultural Modernization, 2019, 40(4): 556-564.]
- [15] 文高辉, 杨钢桥. 耕地细碎化对农户耕地生产率的影响机理与实证. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(5): 138-148. [Wen Gaohui, Yang Gangqiao. Impact mechanism and empirical study of cultivated land fragmentation on farmers' cultivated land productivity. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(5): 138-148.]
- [16] 葛玉娟, 赵宇鸾. 基于道路网络分析技术的耕地细碎化测度模型改进. 资源科学, 2019, 41(4): 766-774. [Ge Yujuan, Zhao Yuluan. Improvement of farmland fragmentation measurement model based on road network analysis. Resources Science, 2019, 41(4): 766-774.]
- [17] 王利民, 刘佳, 高建孟, 等. 冬小麦面积遥感识别精度与空间分辨率的关系. 农业工程学报, 2016, 32(23): 152-160. [Wang Limin, Liu Jia, Gao Jianmeng, et al. Relationship between accuracy of winter wheat area remote sensing identification and spatial resolution. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(23): 152-160.]
- [18] 傅伯杰, 徐延达, 吕一河. 景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法. 地球科学进展, 2010, 25(7): 673-681. [Fu Bojie, Xu Yanda, Lv Yihe. Scale characteristics and coupled research of landscape pattern and soil and water loss. Advances in Earth Science, 2010, 25(7): 673-681.]
- [19] 彭建, 徐飞雄. 不同网格尺度下的黄山市生境质量差异分析. 地球信息科学学报, 2019, 21(6): 887-897. [Peng Jian, Xu Feixiong. Effect of grid size on habitat quality assessment: A case study of Huangshan city. Journal of Geo-information Science, 2019, 21(6): 887-897.]
- [20] 孙瑞, 金晓斌, 项晓敏, 等. 土地整治对耕地细碎化影响评价指标适用性分析. 农业工程学报, 2018, 34(13): 279-287. [Sun Rui, Jin Xiaobin, Xiang Xiaomin, et al. Applicability analysis of indices in assessment on effect of land consolidation on cultivated land fragmentation. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(13): 279-287.]
- [21] 范业婷, 金晓斌, 项晓敏, 等. 农用地整治对产能影响的特征预测及评估: 方法与实证. 地理研究, 2016, 35(10): 1935-1947. [Fan Yeting, Jin Xiaobin, Xiang Xiaomin, et al. Prediction and evaluation of characteristic of agricultural productivity change influenced by farmland consolidation: Method and case study. Geographical Research, 2016, 35(10): 1935-1947.]
- [22] 陈锦坪, 杨伟州, 魏明欢, 等. 环渤海地区县域耕地景观细碎化时空变异分析: 以昌黎县为例. 中国农业资源与区划, 2017, 38(8): 85-92. [Cheng Jinping, Yang Weizhou, Wei Minghuan, et al. Analysis on the temporal and spatial change of cultivated land landscape fragmentation in Bohai Rim: A case study of Changli county. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(8): 85-92.]
- [23] 蔡运龙. 贵州省自然区划与区域开发. 地理学报, 1990, 45(1): 41-55. [Cai Yunlong. Physico-geographical regionaliza-

- tion and regional development of Guizhou province. *Acta Geographica Sinica*, 1990, 45(1): 41-55.]
- [24] 孙雁, 赵小敏. 分宜县土地细碎化的中观尺度研究. *中国土地科学*, 2010, 24(4): 25-31. [Sun Yan, Zhao Xiaomin. Research on land fragmentation of Fenyi county on meso-level. *China Land Science*, 2010, 24(4): 25-31.]
- [25] 赵宇鸾, 葛玉娟, 旷成华, 等. 乡村振兴战略下贵州山区森林转型路径研究. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2018, 36(1): 1-7. [Zhao Yuluan, Ge Yujuan, Kuang Chenghua, et al. The path of forest transformation in mountainous areas in Guizhou province under the strategy of rural revitalization. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences*, 2018, 36(1): 1-7.]
- [26] 赵翠薇, 濮励杰. 贵州省50年来耕地资源数量变化特征及其与粮食产量的关系研究. *南京大学学报: 自然科学*, 2005, 41(1): 105-112. [Zhao Cuiwei, Pu Lijie. Relationship between the arable land change and the grain production in Guizhou province during the past 50 years. *Journal of Nanjing University Natural Sciences*, 2005, 41(1): 105-112.]
- [27] 高江波, 蔡运龙. 区域景观破碎化的多尺度空间变异研究: 以贵州省乌江流域为例. *地理科学*, 2010, 16(5): 742-747. [Gao Jiangbo, Cai Yunlong. Spatial heterogeneity of landscape fragmentation at multi-scales: A case study in Wujang River Basin, Guizhou province, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 16(5): 742-747.]
- [28] 代绍奇, 伍博炜, 伍世代, 等. 基于细碎化和区位条件的丘陵山区农用地整理优先度研究: 以福建省松溪县为例. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2015, 33(4): 14-20. [Dai Shaoqi, Wu Bowei, Wu Shidai, et al. Priority research of hilly land consolidation based on land fragmentation and location condition: A case study of Songxi county, Fujian province. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences*, 2015, 33(4): 14-20.]
- [29] King R. Land fragmentation: Notes on a fundamental rural spatial problem. *Progress in Human Geography*, 1982, 6(4): 475-494.
- [30] 张英. 山区坡耕地撂荒机理与模型模拟: 以重庆武隆县为例. 北京: 中国科学院大学博士学位论文, 2014: 63. [Zhang Ying. Basic mechanisms and modeling of sloping cropland abandonment in mountainous areas: A case study of Wulong county, Chongqing. Beijing. Doctoral Dissertation of Chinese Academy of Sciences University, 2014: 63.]
- [31] 胡云锋, 徐芝英, 刘越, 等. 地理空间数据的尺度转换. *地球科学进展*, 2013, 28(3): 297-304. [Hu Yunfeng, Xu Zhiying, Liu Yue, et al. A review of the scaling issues of geospatial data. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(3): 297-304.]
- [32] 胡云锋, 徐芝英, 刘越, 等. 空间尺度上推方法的精度评价: 以内蒙古锡林郭勒盟土地利用数据为例. *地理研究*, 2012, 31(11): 1961-1972. [Hu Yunfeng, Xu Zhiying, Liu Yue, et al. Accuracy analysis of up-scaling data: A case study with land use data in Xilin Gol of Inner Mongolia, China. *Geographical Research*, 2012, 31(11): 1961-1972.]
- [33] 徐芝英, 胡云锋, 刘越, 等. 空间尺度转换数据精度评价的准则和方法. *地理科学进展*, 2012, 31(12): 1574-1582. [Xu Zhiying, Hu Yunfeng, Liu Yue, et al. A review on the accuracy analysis of spatial scaling data. *Progress in Geography*, 2012, 31(12): 1574-1582.]

## Cultivated land fragmentation in mountainous areas based on different resolution images and its scale effects

REN Hongyu<sup>1</sup>, ZHAO Yuluan<sup>1,2</sup>, LI Xiubin<sup>2</sup>, GE Yujuan<sup>1</sup>

(1. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Studying the scale effect of cultivated land fragmentation is of great significance for remote sensing monitoring, remediation and sustainable use of cultivated land in mountainous areas. This paper selects three types of typical landforms with different geomorphological backgrounds as the case area, namely, Sunjia village in the dam area, Yayu village in the hilly area and Xiaoba village in the mountain area. The fragmentation measurement model is constructed to quantitatively analyze the scale effect of the degree of cultivated land fragmentation at the five resolutions of 0.1 m, 1 m, 2 m, 5 m and 10 m in Guizhou mountainous areas. The main conclusions are as follows: (1) with the decrease of image resolution, the characteristics of cultivated plots under different landscapes have obvious scale effects. (2) There are differences in the degree of cultivated land fragmentation under different geomorphological backgrounds. The fineness of the hilly area is the highest, followed by the dam area, and the mountain area is the lowest. The degree of cultivated land fragmentation at different image resolutions has obvious scale effect, and the index of cultivated farmland fragmentation in all the three typical villages show a power function decline. In addition, the degree of cultivated farmland fragmentation with different geomorphological backgrounds is different in response to scale changes. The grain size response of cultivated land in the dam area is the strongest, followed by the hilly area and that of the mountain area is the weakest. (3) With the previous scale as a reference to calculate the loss accuracy, the degree of cultivated land fragmentation in the dam and hilly areas is the most sensitive when the image resolution is changed from 2 m to 5 m, while the sensitivity of the mountain area to the scale change is increasing. When the basic scale is used as the reference, the degree of cultivated land fragmentation in the hilly area is the most sensitive to the scale change, followed by the mountain area, and the lowest is in the dam area. The study aims to provide reference for the investigation, evaluation and treatment of cultivated land fragmentation in mountainous areas.

**Keywords:** cultivated land fragmentation; farmers' perspective; scale effect; mountainous area; Guizhou