

土地整治区田块空间形态变化遥感监测与评价

张超¹ 刘佳佳¹ 陈英义¹ 吕雅慧¹ 杨建宇^{1,2} 朱德海^{1,2}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100035)

摘要: 为了客观监测和评价土地整治项目建设成效,基于高空间分辨率遥感影像,以耕地图斑数据为约束,利用面向对象分类方法识别田块,并构建田块级和区域级田块空间形态评价指标体系,选取田块面积、规整度、紧致性和连片性等4个指标为田块层级评价指标,选取田块密度、平均田块面积、最大田块指数、景观形状指数和周长面积分维数等5个指标为区域层级评价指标,并分别对两个层级指标进行无量纲化处理,构建综合指标。分别以广西丘陵区和海南平原区的土地整治区作为试验区,试验结果表明:广西研究区整治前田块层级耕地空间形态综合指标分布在50~70,整治后提升到70~90,海南研究区整治前在70~90,整治后提升到90~100;广西研究区整治前区域层级田块空间形态综合指标值为41,整治后提升到83;海南研究区整治前为63,整治后提升到92。表征经过土地整治,两个研究区的田块形态均得到了较大提升。研究提出的土地整治项目建设成效遥感监测和评价方法,可以为我国土地整治和高标准农田建设的监测和评价提供技术支撑。

关键词: 遥感; 土地整治; 面向对象分类; 田块形态; 监测; 评价

中图分类号: S127; F311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)01-0104-08

Remote Sensing Monitor and Evaluation on Patch Morphology Changing in Land Consolidation Areas

ZHANG Chao¹ LIU Jiajia¹ CHEN Yingyi¹ LÜ Yahui¹ YANG Jianyu^{1,2} ZHU Dehai^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: In order to objectively monitor and evaluate the effectiveness of land consolidation, a new method to identify filed patch data was proposed, which was based on remote sensing imagery and taking arable land polygon data as constraints. The field patch data identified by using this method not only had regional characteristics, but also considered ownership information to some extent. On this basis, evaluation index system in field and regional levels was respectively built for cultivated field patch fragmentation's degree. Patch area, regularity, compactness and connectivity were chosen as evaluation indexes in field level and mean area, density of field patch, LAI, LSI and PAFRAC were chosen as evaluation indexes in regional level. And then the indexes in two levels were made to be dimensionless respectively. The method was applied to Guangxi hilly areas and Hainan plains. The results of experiment showed that after consolidation, the majority of comprehensive evaluation index in field level of Guangxi region was improved from 50 ~ 70 to 70 ~ 90, and that in Hainan plains was improved from 70 ~ 90 to 90 ~ 100. The comprehensive evaluation index in regional level of Guangxi hilly areas was increased from 41 to 83 after land consolidation, and that in Hainan plains was increased from 63 to 92. The proposed method for identifying field patch can support the monitor and evaluation of land consolidation projection aimed at land fragmentation, no matter study areas located in hilly areas or plain areas. Hence, the research result can provide support for remote sensing monitor and evaluation in land consolidation areas and remote sensing discerning of well-facilitated farmland.

Key words: remote sensing; land consolidation; object-oriented classification; patch morphology; monitor; evaluation

收稿日期: 2016-01-25 修回日期: 2016-07-25

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA10230103)和国土资源部公益性行业科研专项(201511010-06)

作者简介: 张超(1972—),男,教授,博士生导师,主要从事农业与国土资源遥感监测研究,E-mail: zhangchaobj@cau.edu.cn

通信作者: 陈英义(1980—),男,副教授,博士生导师,主要从事大数据和数据模型研究,E-mail: chyingyi@126.com

引言

耕地细碎化主要存在于人地矛盾突出的国家和地区,是与耕地规模化经营相悖的一种土地利用格局^[1]。耕地细碎化造成农村土地利用效率低下、农业经营成本升高,从而限制了农业现代化的发展^[2]。目前,耕地细碎化在我国的突出表现就是地块分散细碎、农户经营规模小,并且这种现象随着社会经济的快速发展和转型日益严峻^[3]。有针对性地开展农村土地整治,可优化土地利用格局,提升土地利用效率。此类土地整治项目主要目的之一就是改善田块空间形态,因此,田块形态评价是土地整治项目建设成效评价的重要内容。

通过土地整治工程可使田块归并,如2006年广西率先开展的“小块并大块”项目^[4],将小块细碎耕地规整为大块耕地,以便于机械化耕作。目前多数研究中使用的评价单元地块数据为实地调查、统计分析,以及基于遥感影像和现有图件数据获取。吕振宇等^[3]使用实地调查耕作地块数据和遥感影像获取最终耕作地块数据;HAZEU等^[5]以国家土地覆盖数据为约束,主要以归一化差值植被指数(NDVI)区分不同研究单元。针对耕地空间形态评价,目前选择的衡量指标主要分为社会属性指标和地块空间属性指标^[6-13]。耕地细碎化程度量化的研究中,MANJUNATHA等^[6-8]以农户地块数或地块面积等单指标衡量,TAN等^[9-13]以多指标衡量,构建了J指数、I指数、S指数、LF指数等来量化耕地细碎化程度^[11-13]。降低耕地细碎化程度手段主要是土地整治工程,以及土地流转途径^[14-15];在研究工具和方法上主要是采用生产函数、回归分析等^[16-18]。目前

多数研究都集中在评价方法和指标体系上。针对评价基本单元,直接采用现有耕地数据进行分析结果比较粗糙,采用实地调查数据耗时耗力,实时性差。

因此,本文提出基于遥感识别田块,并构建评价指标的完整的评价方法。以研究区整治前后两期遥感影像数据为主要数据源,在耕地图斑的约束下,基于光谱差异性进行面向对象的田块图斑识别,进一步构建田块层级和区域层级评价指标,对土地整治项目区田块形态进行监测和评价,以期为我国土地整治、高标准农田建设监测和评价提供支撑。

1 研究区和数据源

1.1 研究区概况

选取海南省海口市东山镇土地整治项目区和广西省崇左市江州区某土地整治项目区作为研究区,如图1所示。江州项目区地理坐标为东经107°25′~107°27′,北纬22°26′,属亚热带季风气候,主要农作物有水稻、甘蔗。东山镇项目区为国家投资土地整理项目,位于海口市秀英区,地理坐标为东经110°15′~110°18′,北纬19°42′~19°44′,以瓜菜种植为主。

海南研究区属于平原区,通过对道路沟渠重规划的方式来提升田块形态;广西研究区地处丘陵,主要依靠土地整治项目和农民之间权属调整的方式进行田块归并。两个项目区自然环境差异明显,土地整治方式也各有侧重,但均是针对耕地细碎化问题开展土地整治项目,改善田块形态。选取特色鲜明的两个项目区,一方面说明本文所提评价方法的适用性,另一方面对比我国平原与丘陵区田块归并土地整治工程成效差异。

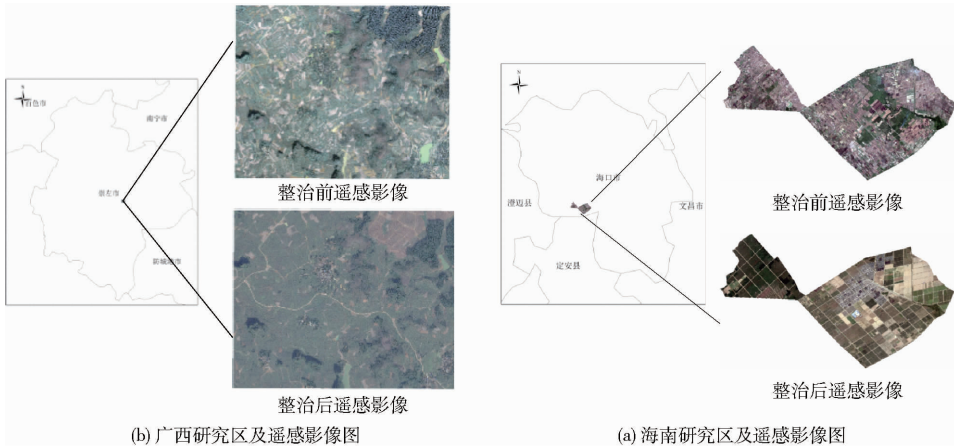


图1 研究区及遥感影像

Fig. 1 Study area and remote sensing imagery

1.2 数据

1.2.1 遥感数据

本文选取的两个项目区整治前、后两期遥感数

据为空间分辨率0.5 m的Google Earth影像数据。海南研究区分别选取2010年和2015年遥感影像,广西研究区选取2004年和2014年遥感影像。对两

期原始遥感影像分别进行校正、裁剪等预处理,形成项目区整治前后遥感数据。

1.2.2 农用地分等数据

在全国农用地分等成果数据库中,选择项目区1:10 000 耕地图斑数据,以遥感影像数据为基础,进行投影、校正、裁剪等预处理,形成项目区的耕地图斑数据。

2 研究方法

利用研究区整治前后两期高空间分辨率遥感影像,以耕地图斑数据作为约束,进行影像分割,以分

类图斑之间光谱差异性进行面向对象分类,识别出更为精细的田块数据。分别从田块层面和区域层面构建评价指标,计算耕地空间形态的各项指标,对比分析土地整治前后耕地图斑的空间形态特性变化情况,评价土地整治项目建设成效。具体技术路线图如图2所示。田块层面指标包括田块面积、紧致性、规整度以及连片性;区域层面指标包括平均田块面积、田块密度、最大田块指数、景观形状指数以及周长面积分维数等5个指标,构造成区域层级形态综合指标,定量反映两个研究区整治前后田块形状变化的整体情况。

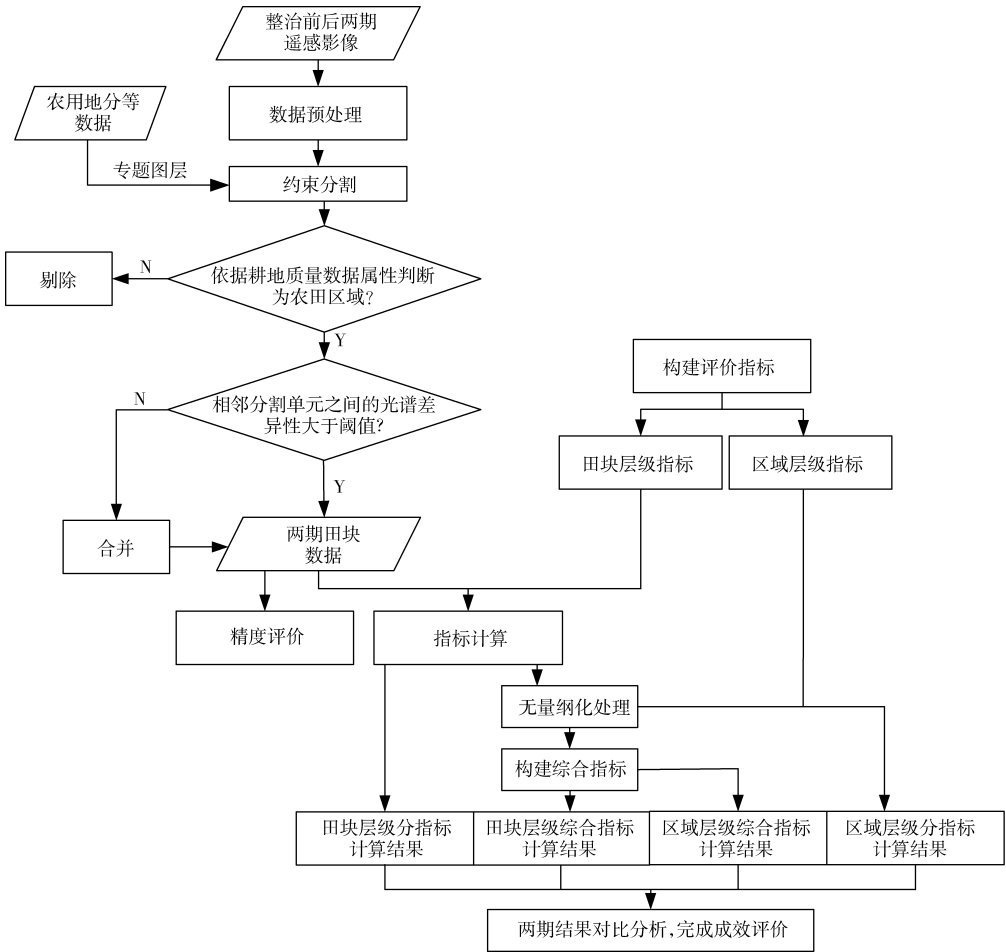


图2 技术路线图

Fig.2 Flow chart of technology

2.1 田块遥感识别

现有的耕地图斑是依据田间末级沟、渠、路等线状地物划分成的土地利用管理基本单元,但实际农业生产的田块更加破碎。本文提出一种更加精细的田块提取方法,依据遥感影像,在耕地图斑的约束下进行面向对象分类,基于光谱差异性进一步识别田块。

以耕地图斑作为约束条件,对遥感影像进行分割,即在每个耕地图斑内部再分割为更小尺度的分类单元,同时根据耕地图斑属性信息剔除非农田区域。再依据是否统一耕作,进一步细分耕地图斑。

在实际生产中,统一耕作的田块,反映到遥感影像上,光谱信息、纹理信息等保持一致。本文采取通过判断相邻分类单元之间的光谱差异性,确定分类单元是否属于同一田块。从农业生产的角度考虑,该方法获得的田块更符合农业生产管理的实际情况。

2.2 田块级别田块空间形态指标

本文主要从田块几何形状和空间连片性两个角度构建田块级的空间形态指标。

2.2.1 田块几何形状

田块几何形状规整有利于机械耕作,本文选择

规整度和紧致性指数两个指标评价田块形状。规整度是指田块形状与正方形的接近程度,空间紧致性指数用面积-周长比来度量,表征田块有合理的形态,计算式分别为^[19-20]

$$I_1 = \frac{D}{4\sqrt{A}} \tag{1}$$

$$I_2 = \frac{A}{D^2} \tag{2}$$

式中 D ——田块周长 A ——田块面积

2.2.2 空间连片性

本文通过耕地连片程度值来评价农田的空间连片性。该值依据地块面积大小来量化,值越大代表连片程度高,反之则连片程度低,计算式为

$$I_3 = \begin{cases} 20 & (A < A_0) \\ 20 + 80 \frac{A - A_0}{A_1 - A_0} & (A_0 \leq A \leq A_1) \\ 100 & (A > A_1) \end{cases} \tag{3}$$

式中 A_0, A_1 ——通过对全区所有耕地地块面积采用自然断点法获得阈值

2.3 区域级别田块空间形态指标

选取田块密度、平均田块面积、最大田块指数、景观形状指数和周长面积分维数等 5 个指标来进行总体评价,其中最大田块指数(P)反映了田块的连片程度;景观形状指数(S)反映田块形状的复杂程度,值越大田块形状越不规则;周长面积分维数(F)反映了田块形状复杂性,取值范围一般应在 1~2 之间,其值越接近 1,斑块越简单,其值越接近 2,斑块形状就越复杂。计算公式分别为

$$P = \frac{\max(A_0, A_1, A_2, \cdots, A_i)}{A} \tag{4}$$

式中 A_i ——第 i 个田块面积

$$S = \frac{\overline{D}}{\sqrt{\overline{A}}} \tag{5}$$

式中 $\overline{D}$ ——项目区内田块周长均值
 $\overline{A}$ ——项目区内田块面积均值

$$F = \frac{2}{n \sum_{i=1}^n (\ln D_i \ln A_i)} - \left(\sum_{i=1}^n \ln D_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln A_i \right) \frac{1}{n \sum_{i=1}^n \ln D_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln D_i \right)^2} \tag{6}$$

式中 D_i ——第 i 个田块周长

2.4 综合评价指标

采用观测值与适宜值比值方法,去除各指标量纲,实现归一化,同时同趋化处理,使每个评价指标

对田块形态评价结果呈正向影响^[21-22],结果处于 [0,1] 值域内,公式为:

$$\text{正向指标} \quad Y_i = \begin{cases} 1 & (I_i \geq I_i^s) \\ \frac{I_i}{I_i^s} & (I_i < I_i^s) \end{cases} \tag{7}$$

$$\text{负向指标} \quad Y_i = \begin{cases} 1 & (I_i \leq I_i^s) \\ \frac{I_i^s}{I_i} & (I_i > I_i^s) \end{cases} \tag{8}$$

式中 I_i ——第 i 个待处理的评价指标

I_i^s ——指标适宜值,本文选用平均值

Y_i ——经无量纲化处理的第 i 个评价指标

将同一层级无量纲指标进行无权重累加,并转化到 [0,100] 值域区间,形成不同层级的综合评价指标。

3 试验结果与分析

3.1 田块识别及精度评价

3.1.1 高分辨率遥感田块识别结果

基于光谱差异性进行面向对象的田块识别,获得的田块数据相对于耕地图斑数据更加精细,细节如图 3a 所示。可以看出,耕地图斑包含多个田块,如果直接以耕地图斑数据作为初始数据,进行田块空间形态分析,所得结果并不能反映农田生产的实际情况。而以本文所提方法识别出的田块数据,在充分考虑到各级路、沟、渠等线状地物对农田的划分,还在一定程度上考虑到了权属、农业生产管理等信息,划分出的田块数据更接近实际,进一步进行田块空间形态计算,并对比土地整治前后的变化,可以更客观地评价土地整治效益^[23]。

以本文提出的方法对两个研究区整治前后进行田块识别,结果如图 3 所示。广西研究区耕地质量数据中耕地图斑为 216 个,以本文方法进行田块识别,整治前田块数为 1 142 个,整治后的田块数为 636 个。海南研究区耕地质量数据中耕地图斑为 184 个,以本文方法进行田块识别,整治前田块数为 595 个,整治后的田块数为 271 个。虽然两个项目区自然状况差异较大,土地整治方式不同,但利用本文的方法均进行了进一步有效田块识别。对比两项目区整治前后田块数量,可看出两个项目区经过整治均取得较好成效。

3.1.2 田块识别精度评价

为进行田块识别精度评价,本文从广西研究区整治前后数据中分别选取 60 个田块图斑作为样本,在海南研究区分别选取 40 个,共计 200 个样本点。以目视解译结果为依据,对试验结果进行田块面积

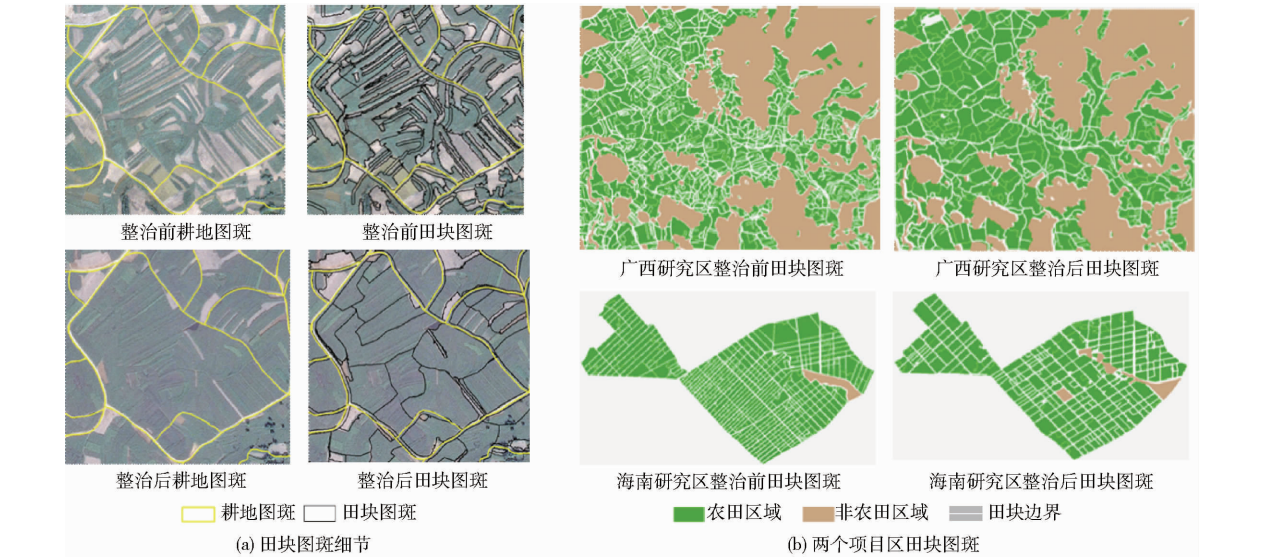


图 3 田块图斑识别结果
Fig. 3 Identification results of field patch

精度评价,如表 1 所示。表中田块识别精度为目视解译田块面积与实验识别田块面积之差,与实验识别田块面积百分比。

表 1 田块识别精度评价

Tab. 1 Accuracy evaluation of field patch identification

田块识别精度	0 ~ 5%	5% ~ 10%	10% ~ 20%	20% ~ 30%	30% ~ 100%	田块面积精度/%
	5%	10%	20%	30%	100%	
田块提取效果	较好	好	一般	较差	差	
广西研究区	53	45	16	5	1	81.6
海南研究区	42	29	9	2	0	88.7

从表 1 中可以看出,以本文方法提取田块,广西研究区田块面积精度达到 81.6%,海南研究区达到 88.7%。两个研究区的田块识别结果均较为理想。但是海南研究区的田块识别结果优于广西,这是由于广西地处丘陵,自然条件复杂,耕地尤为破碎,对光谱差异性计算影响较大,造成较大误差。

3.2 田块级别空间形态评价指标计算

3.2.1 单项指标计算

从田块面积、规整度、紧致性和连片性等 4 个指标反映耕地的空间形态,分别对两个研究区进行指标计算,结果如图 4 所示,可以明显看出研究区范围内田块的 4 个指标经过土地整治后均有所提升。

广西研究区整治前田块面积多数小于 1 hm²,整治后多数处于 3 ~ 4 hm²;整治前田块规整度主要分布于大于 2.2 区间,整治后大多田块提升到 1.3 ~ 1.6 之间;整治前田块紧致性主要位于 0.01 ~ 0.02 区间,整治后提升到 0.02 ~ 0.03;整治前田块连片性大多位于 20 ~ 40 区间,整治后很多田块达到 100。

海南研究区整治前田块面积多数小于 1 hm²,整治后多数大于 2 hm²;整治前田块规整度主要分布在小于 1.6 区间,整治后分布在小于 1.3 区间;整治前田块紧致性分布在 0.02 ~ 0.05 区间,整治后大多田块的紧致性达到 0.05;整治前田块连片性大多位于 20 ~ 40 区间,整治后很多田块达到 100。

对比两个研究区,4 个指标无论整治前后,海南研究区均要优于广西研究区,尤其是反映田块几何形态的规整度和紧致性两个指标,这是由两个项目区所处区域的地理条件所决定。

3.2.2 综合指标计算

面积、规整度、紧致性和连片性从不同的角度反映田块形态,且不同指标对田块形态呈正向或负向的影响趋向,为了更加直观地反映整治效果,利用本文构建的田块空间形态综合指标进行评价,该指标值域[0,100],值越大,田块形态越理想,计算结果如图 5 所示。

广西研究区整治前的田块形态综合指标主要介于 50 ~ 70 之间,整治后提升到 70 ~ 90 之间;海南研究区整治前的田块形态综合指标主要介于 70 ~ 90 之间,整治后提升到 90 ~ 100 之间。可以看出,无论在丘陵区域还是在平原区域,经过土地整治都有较为显著的效果。

3.3 区域级别田块空间形态评价指标计算

3.3.1 单项指标计算

为了进一步对比区域级别土地整治项目建设成效,选择田块密度等 5 个可以反映区域耕地空间形态情况的指数,对两个项目区整治前后变化进行整体分析,具体结果见表 2。

表 2 显示,广西研究区经过整治后,田块密度由

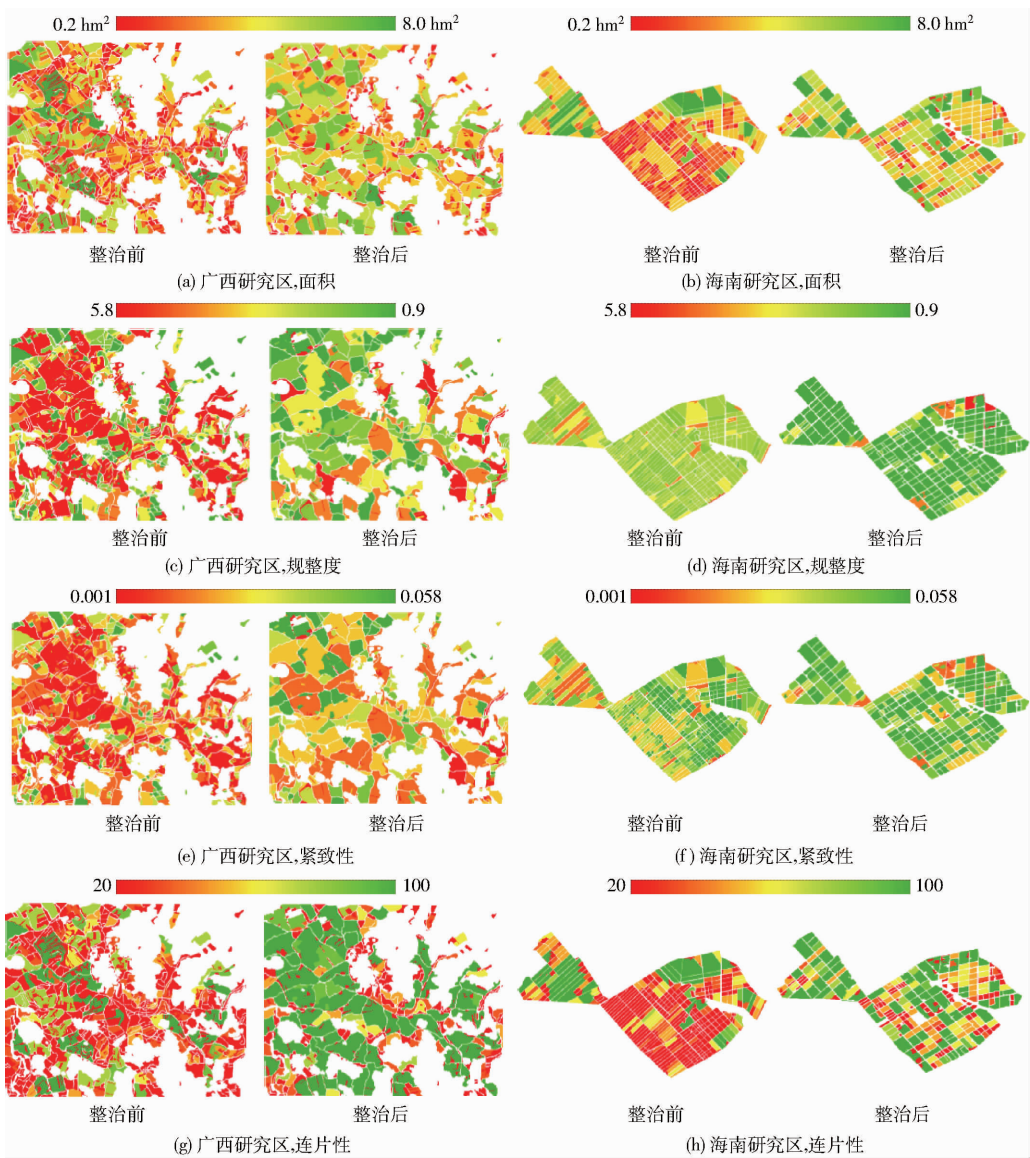


图 4 田块级别空间形态分项指标

Fig. 4 Four types of evaluation index in field level

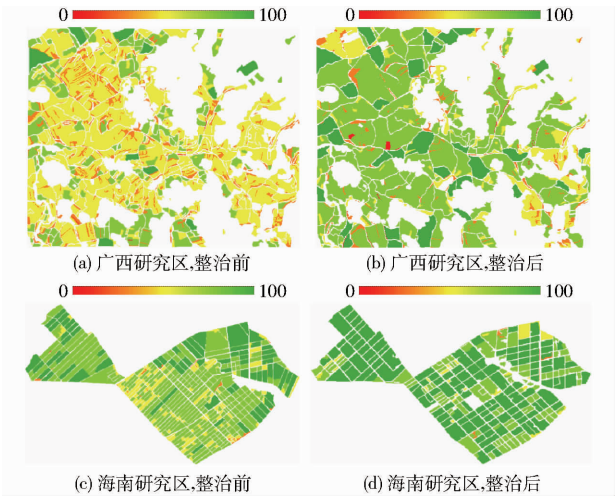


图 5 田块级别空间形态综合指标

Fig. 5 Comprehensive evaluation index in field level

23 个/hm² 减少到 10 个/hm², 平均田块面积由 4.32 hm² 增加到 10.31 hm²; 海南研究区田块密度

表 2 区域级别田块形态分项指标计算结果

Tab.2 Calculation results of five types of evaluation index in regional level

研究区		田块 密度/ (个·hm ⁻²)	平均田 块面积/ hm ²	最大 田块 指数	景观 形状 指数	周长 面积 分维数
广西研究区	整治前	23	4.32	0.02	56.81	1.98
	整治后	10	10.31	0.05	28.27	1.47
海南研究区	整治前	13	7.65	0.02	27.36	1.43
	整治后	6	16.36	0.03	18.35	1.21

由 13 个/hm² 减少到 6 个/hm², 平均田块面积由 7.65 hm² 增加到 16.36 hm²。田块密度和平均田块密度两个指数均可反映区域内田块的破碎程度, 两个项目区田块密度降低, 平均田块面积增加, 说明两个研究区经过土地整治田块破碎化程度有所好转。对比两个项目区可以看出, 广西研究区田块整体比海南研究区破碎。

广西研究区最大田块指数由 0.02 增加到 0.05,海南由 0.02 增加到 0.03,可以得出,经过土地整治,两个项目区的田块连片性有所提高。

广西研究区景观形状指数由 56.81 减小到 28.27,周长面积分维数由 1.98 减小到 1.47;海南景观形状指数由 27.36 减小到 18.35,周长面积分维数由 1.43 减小到 1.21。以上数据表明,经过整治两个项目区的田块几何形态更加规整。项目区对比,广西研究区的田块几何形态比海南研究区略差。

3.3.2 综合指标计算

区域层级各指标反映侧重点不同,通过去量纲,构建区域级别田块形态综合指标,表达两个研究区整治前后的田块总体状况。

区域层级的田块形态综合指标直观表达了研究区域田块形态的整体水平,值越大,该区域内田块形态的整体水平越好。广西研究区经过整治后区域级别田块形态综合指标由 41 提升到 83;海南研究区由 63 提升到 92。经过整治,两个研究区的综合指数均有所提升,表明在田块空间形态方面,两个研究区田块质量的整体水平均有所改善。由于自然条件影响,广西研究区田块经过整治的提升空间

比海南研究区更大,广西经过整治,区域级别田块形态综合指标提升了 42,而海南提升了 29。但从整体区域指标计算结果可以看出,无论是丘陵区还平原区,经过土地整治田块空间形态都得到了明显的改善。

4 结 论

(1)提出以耕地图斑为约束条件,基于高分辨率遥感影像的光谱差异性,采用面向对象方法识别田块,得到了更加精细的田块数据,更符合农田生产的实际情况。

(2)从田块和区域两个级别构建田块空间形态评价多指标体系,并基于两个级别多指标体系分别构建综合指标,从两个级别,分指标和综合指标评价研究区田块形态变化。

(3)客观评价了广西丘陵区 and 海南平原区的土地整治项目区,从结果可以看出两项目区经过土地整治,田块空间形态改善效果显著。

(4)对比两个研究区计算结果,可以看出由于自然条件影响,丘陵区田块在空间形态上,经过整治提升空间大于平原区。

参 考 文 献

- 1 陈红宇,朱道林,鄢文聚,等.嘉兴市耕地细碎化和空间集聚格局分析[J].农业工程学报,2012,28(4):235-242.
CHEN Hongyu, ZHU Daolin, YUN Wenju, et al. Analysis on cultivated land fragmentation and spatial agglomeration pattern in Jiaxing City [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4):235-242. (in Chinese)
- 2 吕振宇.耕地细碎化的评价、效应及整治研究[D].北京:中国农业大学,2015.
LÜ Zhenyu. Study on evaluation, effect and consolidation of cultivated land fragmentation—an empirical analysis based on Quzhou Country[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- 3 吕振宇,牛灵安,郝晋珉,等.基于层次分析法的耕地细碎化程度多指标综合评价研究[J].中国农学通报,2014,30(26):200-206.
LÜ Zhenyu, NIU Ling'an, HAO Jinmin, et al. Study on the multi-index comprehensive evaluation of cultivated land fragmentation's degree based on the analytical hierarchy process [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(26):200-206. (in Chinese)
- 4 卢艳霞,黄盛玉,王柏源,等.农村土地整治创新模式的思考——基于广西壮族自治区崇左市龙州县“小块并大块”的启示[J].中国土地科学,2012,26(2):84-87.
LU Yanxia, HUANG Shengyu, WANG Baiyuan, et al. The innovative pattern of the rural land readjustment; the implication of the aggregation from small to large parcel (ASLP) in Longzhou County Chongzuo City, Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. China Land Science, 2012, 26(2):84-87. (in Chinese)
- 5 HAZEU Gerard, MILENOV Pavel, PEDROLI Bas, et al. High nature value farmland identification from satellite imagery, a comparison of two methodological approaches[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 30: 98-112.
- 6 MANJUNATHA A V, ANIK A R, SPEELMAND S, et al. Impact of land fragmentation, farm size, land ownership and crop diversity on profit and efficiency of irrigated farms in India[J]. Land Use Policy, 2013, 31:397-405.
- 7 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[J].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 [J]. Resources Science, 2012, 34(5): 903-910. (in Chinese)
- 8 TAN Shuhao, HEERINK Nico, QU Futian. Land fragmentation and its driving forces in China[J]. Land Use Policy, 2006, 23(3): 272-285.
- 9 TAN S, HEERINK N, KUYVENHOVEN A, et al. Impact of land fragmentation on rice producers' technical efficiency in South-

East China NJAS Wageningen[J]. Journal of Life Sciences,2010, 57(2):117 – 120.

10 DI FALCO Alvatore, PENOV Ivan, ALEKSIEV Aleks, et al. Agrobiodiversity, farm profits and land fragmentation: evidence from Bulgaria[J]. Land Use Policy,2010, 27(3):763 – 771.

11 赵凯. 论土地细碎化及其定量测定方法[J]. 中国土地科学,2011,25(10):35 – 39.
ZHAO Kai. Land fragmentation and it's quantitative measurement method[J]. China Land Sciences, 2011, 25(10):35 – 39. (in Chinese)

12 BLAREL B, HAZELL P, PLACE F, et al. The economics of farm fragmentation: evidence from Ghana and Rwanda[J]. The World Bank Economic Review, 1992, 6(2):233 – 254.

13 WU Z P, LIU M Q, JOHN D. Land consolidation and productivity in Chinese household crop production[J]. China Economic Review, 2005, 16(1): 28 – 49.

14 黄思琴,陈英,张仁陟,等. 基于景观指数的耕地细碎化与农业经济水平的空间相关性分析[J]. 干旱地区农业研究,2015, 33(3):238 – 244.
HUANG Siqin, CHEN Ying, ZHANG Renzhi, et al. Spatial correlation analysis of land fragmentation and agriculturedevelopment based on landscape indexes[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(3): 238 – 244. (in Chinese)

15 FALCO S D, PENOV I, ALEKSIEV A, et al. Agrobiodiversity, farm profits and land fragmentation: evidence from Bulgaria[J]. Land Use Policy, 2010, 27(3): 763 – 771.

16 李鹏山,吕雅惠,张超,等. 基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(5):281 – 287. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160538&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.038.
LI Pengshan, LÜ Yahui, ZHANG Chao, et al. Analysis of cultivated land fragmentation in Beijing-Tianjin-Hebei region based on kernel density estimation[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5):281 – 287. (in Chinese)

17 奉婷,张凤荣,李灿,等. 基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J]. 农业工程学报,2014,30(1):200 – 210.
FENG Ting, ZHANG Fengrong, LI Can, et al. Spatial distribution of prime farmland based on cultivated land quality comprehensive evaluation at county scale[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(1): 200 – 210. (in Chinese)

18 窦莉莉,郑学昌,杨璐雯,等. 北京奥后夏季农业景观的变化特征分析——以北京市大兴区、通州区为例[J]. 北京师范大学学报,2015,51(增刊1):1 – 7.
DOU Lili, ZHENG Xuechang, YANG Junwen, et al. Changes in summer agricultural landscapes since the 2008 Beijing Summer Olympics: the case of Daxing District and Tongzhou District, Beijing[J]. Journal of Beijing Normal University, 2015,51(Supp.1): 1 – 7. (in Chinese)

19 DEMETRIOU D, SEE L, STILLWELL J. A parcel shape index for use in land consolidation planning[J]. Transactions in GIS, 2013, 17(6): 861 – 882.

20 DEMETRIOU D, STILLWELL J, SEE L. A new methodology for measuring land fragmentation[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2013, 39(39): 71 – 80.

21 白玮,郝晋珉,张秋平,等. 土地利用总体规划中生态退耕规划标准指标体系构建与应用[J]. 农业工程学报,2007,23(1): 72 – 76.
BAI Wei, HAO Jinmin, ZHANG Qiuping, et al. Establishment and application of the indicator system for planning standard of ecological restoration in the general land use planning [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(1): 72 – 76. (in Chinese)

22 段瑞娟,郝晋珉,张洁瑕. 北京区位土地利用与生态服务价值变化研究[J]. 农业工程学报,2006,22(9):21 – 28.
DUAN Ruijuan, HAO Jinmin, ZHANG Jiexia. Land utilization and changes on eco-service value in different locations in Beijing [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9): 21 – 28. (in Chinese)

23 冯昕,杜世宏,张方利,等. 基于多尺度融合的高分辨率影像城市用地分类[J]. 地理与地理信息科学,2013,29(3): 43 – 47.
FENG Xin, DU Shihong, ZHANG Fangli, et al. Urban land classification of high resolution images based on multi-scale fusion [J]. Geography and Geo-Information Science, 2013, 29(3):43 – 47. (in Chinese)