# 基于多源遥感数据的土地整治生态环境质量动态监测

单 薇<sup>1</sup>,金晓斌<sup>1,2</sup>\*,孟宪素<sup>3</sup>,杨晓艳<sup>3</sup>,徐志刚<sup>1</sup>,顾铮鸣<sup>1</sup>,周寅康<sup>1,2</sup>

(1. 南京大学地理与海洋科学学院,南京 210023; 2. 国土资源部海岸带开发与保护重点实验室, 南京 210023; 3. 国土资源部土地整治中心,北京 100035)

摘 要:土地整治生态转型是土地整治发展的必然趋势,在项目区尺度进行科学合理、客观直接、长期全面的生态环境 质量监测评估具有重要意义。该研究基于多源遥感数据,选取典型土地整治项目,运用主成分分析法构建 RSEI (remote sensing ecological index)模型,反演得到湿度、绿度、热度、干度指标以及 RSEI 指数,实现对项目区整治过程中生态 环境质量变化的监测与分析。研究结果表明:1)湿度和绿度指标对项目区生态环境质量具有正向作用,而热度和干度指 标起负向作用,且干度指标的影响最大;2) RSEI 总均值在整治前、中、后分别为 0.652、0.572 和 0.605; RSEI 等级中 的优良等级在整治前、中、后所占比例分别为 78.73%、39.55%和 63.29%; RSEI 变差、不变和变好的比例分比为 42.55%、 46.25%和 11.20%;3)项目区生态环境质量呈现"先下降-后上升-整体下降"的态势,表现为"整治期变差-恢复期变好-全过程变差"的总体特征,土地整治对项目区生态环境的扰动具有持续性,区域生态环境恢复与改善存在滞后期,在项 目竣工 5 年后项目区的生态环境质量水平仍低于整治前。

关键词:土地整治; 生态; 遥感; 环境质量; 动态监测; RSEI 指数

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.01.029

中图分类号: F301.2 文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-01-0234-09

单 薇, 金晓斌, 孟宪素, 杨晓艳, 徐志刚, 顾铮鸣, 周寅康. 基于多源遥感数据的土地整治生态环境质量动态监测[J]. 农业工程学报, 2019, 35(1): 234-242. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.01.029 http://www.tcsae.org Shan Wei, Jin Xiaobin, Meng Xiansu, Yang Xiaoyan, Xu Zhigang, Gu Zhengming, Zhou Yinkang. Dynamical monitoring of ecological environment quality of land consolidation based on multi-source remote sensing data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(1): 234-242. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.01.029 http://www.tcsae.org

## 0 引 言

随着城市化和工业化迅速推进,人地关系冲突凸显, 国土资源环境承载压力越来越大。土地整治作为保障国 家粮食安全、支持乡村振兴战略、优化土地资源配置、 促进生态文明建设的重要手段[1-3],在稳定有效耕地面积、 提高耕地生产能力、优化用地结构等方面发挥了积极作 用,已经成为当前中国最大规模改变土地利用方式和影 响陆地生态系统的有组织人类活动之一[4]。国土资源是绿 色发展的物质基础、空间载体、能量来源和构成要素, 在生态文明建设目标要求下,现阶段中国土地整治逐步 从增加耕地数量,向注重耕地数量保护、质量保护、生 态保护并重转变[5]。《全国土地整治规划(2016-2020年)》 明确提出"按照生态文明建设要求,实施山水林田湖综 合整治,加强生态环境保护和修复,大力建设生态国土", 以"促进生态安全屏障建设,加强农田生态防护和建设, 开展土地生态环境整治示范建设"为主要目标和重要任 务,着力推进土地整治生态环境建设。

收稿日期: 2018-05-17 修订日期: 2018-10-15

基金项目:国家科技支撑计划课题(2015BAD06B02)

作者简介:单 薇,河南周口人,博士研究生,主要从事土地利用与国土整治研究。Email: shanbelieve@126.com

生态环境质量的监测与评价是进行国土空间规划和 土地整治效益分析的基础,但由于其具有的内涵丰富、 表现多源、机制复杂、尺度差异、时空变化等特点[6-7], 使之成为行政管理和科学研究的难点。在区域尺度, 生 态环境质量评价的方法包括层次分析法<sup>[6]</sup>、综合指数 法<sup>[8]</sup>、模糊综合评价法<sup>[9]</sup>、变异系数法<sup>[10]</sup>等,但尚未形成 统一规范的评价体系<sup>[7]</sup>。2006年,原国家环境保护总局 发布《生态环境状况评价技术规范(试行)》(HJ/T 192-2006) 提出生态环境指数,并将其作为区域生态环境 评价和考核依据,后经修订于2015年发布《生态环境状 况评价技术规范》(HJ 192-2015)。随着遥感技术应用 的深入,生态环境评价方法不断改进<sup>[11-12]</sup>,徐涵秋<sup>[13]</sup>参 考前述规范提出了遥感生态指数(RSEI, remote sensing ecological index),实现了利用遥感数据对区域生态环境 的快速监测。在项目层面,学者基于不同视角,采用不 同方法对土地整治生态环境影响进行了评价分析。在监 测对象上,包括宏观整体评估和局部单要素评估。宏观 整体评估是将土地整治项目区作为一个生态系统,从景 观生态学[14]、生态系统服务[15]、土地整治规划[16]等视角 进行评估;局部单要素评估主要选择生态系统中的关键 要素, 如碳<sup>[17-18]</sup>、氮<sup>[19-20]</sup>等进行评估; 所采用的监测方法 包括综合指数法[21]、多因素综合评判法[22]、关联度分析 法[23]、熵权物元可拓模型[24]、云模型[25]等。综合而言, 在项目层面, 生态环境监测多基于统计资料或土地利用

<sup>※</sup>通信作者:金晓斌,甘肃兰州人,博士,教授,博士生导师,主要从事土 地利用与国土整治研究。Email: jinxb@nju.edu.cn

数据,采用综合指数法,围绕项目实施后的某个时段进 行定性或半定量分析,在研究尺度的针对性、数据来源 的客观性、评价指标的有效性、监测评价的过程性等方 面还有待提升。

项目区是土地整治活动的直接作用对象和效益显化 载体,对其进行生态环境质量的持续监测和动态评估对 改善局地生态环境、保证耕地质量、改善农业生产条件, 乃至区域可持续发展具有重要意义<sup>[4]</sup>。本研究基于多源遥 感数据,选取典型土地整治项目,以整治前、中、后为 研究时段,采用 Landsat-5 TM 和 Landsat-8 OLI/TIRS 影 像数据,结合基础地理数据及项目建设资料,耦合湿度、 绿度、热度和干度指标,运用主成分分析法构建 RSEI 模 型,以实现对项目区生态环境质量时空变化的监测评估。

## 1 研究方法

#### 1.1 研究思路

土地整治是对土地资源及其利用方式的再组织和再 优化过程。基于不同整治阶段,各项工程建设内容(土 地平整工程、灌溉与排水工程、田间道路工程、生态防 护工程以及其他工程)及其进度、土地利用方式、土地 管理方式等的综合作用对项目区生态环境产生诸多直接 或间接、有利或有害的影响<sup>[4]</sup>,受到直接影响的生态环境 要素主要包括土壤、水、生物等。在土壤要素方面,土 地整治工程实施及农业生产对土壤理化性质、土壤生物 活动等产生影响,改变了土壤水分、土壤温度、土壤结 构与质地,影响了土壤肥力与养分循环,可能造成土壤 侵蚀等<sup>[26]</sup>;在水要素方面,土地整治工程实施及设施利 用影响局地水资源配置、提高水资源利用效率、改善水 资源管理等<sup>[27]</sup>;在生物要素方面,土地整治工程实施以 及农业生产等改变了植被数量结构和空间格局[28],影响 了微生物的生命活动<sup>[19]</sup>。就整治过程而言,实施期内, 由于工程建设的扰动对项目区生态环境的影响较为显 著;工程建设结束后,土壤性质、生产能力和环境修复需 要一定的恢复期,有研究认为这一过程一般需要3~5 a<sup>[15]</sup>; 在经历一定阶段的恢复后,项目区的农业生产能力和生 态环境质量一般会有一定程度的提升[29]。

土地整治引起的生态环境要素响应,具体可通过湿度、绿度、热度、干度等指标予以反映<sup>[13,30]</sup>,其中,土壤水分、水资源配置等引起湿度变化;植被类型以及与植物生长密切相关的土壤肥力、水环境质量等引起绿度变化;土壤温度、地表覆被等引起热度变化;土壤质地、 土壤温度、地表覆被等引起热度变化;土壤质地、 土壤温度、土地退化或非农建设活动等引起干度变化。 在技术实现中,可利用专题信息增强技术来从遥感影像 中提取相关指标的表征信息,如采用缨帽变换的湿度分 量、植被指数和地表温度分别代表湿度、绿度和热度; 由于建筑物是人工生态系统的重要组成部分,建筑不透 水面取代原有自然生态系统,导致了地表的"干化", 因此利用建筑(裸土)指数代表"干度"。本研究应用 耦合上述指标的RSEI遥感生态指数评价模型进行土地整 治项目区生态环境质量监测评估,其中,湿度、绿度、 热度和干度分别用湿度分量、归一化植被指数、地表温 度以及干度指数表征。

#### 1.2 分量指标计算

### 1.2.1 湿度指标

湿度分量(WET)可反映地表水体、土壤和植被的 湿度状况。参考 Crist<sup>[31]</sup>和 Baig 等<sup>[32]</sup>的研究,基于 TM 和 OLI 数据进行 WET 提取,计算方法见式(1)、(2)。

$$WET_{(TM)} = 0.0315 \rho_{blue} + 0.2021 \rho_{green} + 0.3102 \rho_{red} + 0.1594 \rho_{NIR} - 0.6806 \rho_{SWIR1} - 0.6109 \rho_{SWIR2}$$
(1)  

$$WET_{(OLI)} = 0.1511 \rho_{blue} + 0.1972 \rho_{green} + 0.3283 \rho_{red} + 0.3407 \rho_{NIR} - 0.7117 \rho_{SWIR1} - 0.4559 \rho_{SWIR2}$$
(2)

式中  $\rho_{blue}$ 、 $\rho_{green}$ 、 $\rho_{red}$ 、 $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{SWIR1}$ 、 $\rho_{SWIR2}$ 分别表示 TM 影像和 OLI 影像所对应的蓝波段、绿波段、红波段、近 红外波段、短波红外 1 波段和短波红外 2 波段的反射率。 1.2.2 绿度指标

归一化植被指数(NDVI, normalized difference vegetation index)是根据植物叶面在红光波段的吸收和 近红外波段的反射特性构建,反映植物生物量、叶面积 指数以及植被覆盖度的参数。本研究以 NDVI 表征绿度 指标,计算方法见式(3)。

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$$
(3)

式中  $\rho_{\text{NIR}}$ 、 $\rho_{\text{red}}$ 分别表示各影像所对应的近红外波段和红 波段的反射率。

#### 1.2.3 热度指标

地表温度与植被的生长与分布、农作物产量、地表 水资源蒸发循环等过程密切相关,是反映地表环境的重 要参数。本研究以经过反演的地表温度(LST, land surface temperature)表征热度指标。具体计算步骤如下:

1) 对于 Landsat 5 的 TM6 波段,利用热红外波段辐射定标参数将像元灰度值(DN,digital number)转换为 传感器处的辐射亮度值( $L_6$ ),通过普朗克辐射函数得到 包含大气影响的像元亮度温度( $T_b$ ),进而通过地表比辐射率( $\epsilon_6$ )转换为地表真实温度(LST)。计算方法见式(4)、(5)、(6)。

$$L_6 = gain \cdot \text{DN} + bias \tag{4}$$

$$T_b = K_2 / \ln \left( K_1 / L_6 + 1 \right) \tag{5}$$

$$LST = T_b / [1 + (\lambda T / \alpha) \ln \varepsilon_6]$$
(6)

式中 gain 和 bias 分别为 TM6 波段的增益值与偏置值,分 别取 0.056 和 1.238;  $K_1$ 和  $K_2$ 为定标系数,通过影像元数 据获取;中心波长  $\lambda$  取 11.48  $\mu$ m,  $\alpha$  取 1.438×10<sup>-2</sup> mK;  $\varepsilon_6$ 为基于 TM6 的地表比辐射率。

2) 对于 Landsat8 中的 2 个红外波段,选择波段 10 进行地表温度反演,在辐射定标后得到热红外波段的辐 射亮度值(*L*<sub>10</sub>),其中包含 3 个组成部分,即大气向上 辐射亮度、地面的真实辐射亮度经过大气层之后到达卫 星传感器的能量,以及大气向下辐射到达地面后反射的

2019年

能量<sup>[33-34]</sup>。卫星传感器接收到的热红外辐射亮度值的计 算方法见式(7)、(8)。

$$L_{10} = \tau_{10} [\varepsilon_{10} B_{10} (T_s) + (1 - \varepsilon_{10}) I_{10}^{\downarrow}] + I_{10}^{\uparrow}$$
(7)

$$B_{10}(T_s) = [L_{10} - I_{10}^{\uparrow} - \tau_{10}(1 - \varepsilon_{10})I_{10}^{\downarrow}] / \tau_{10}\varepsilon_{10}$$
<sup>(8)</sup>

式中 $L_{10}$ 为传感器处的辐射亮度值,由辐射定标获取; $\tau_{10}$ 为大气在热红外波段的透射率; $\varepsilon_{10}$ 为地表比辐射率; $T_s$ 为地表温度; $B_{10}(T_s)$ 是与 $T_s$ 相同的黑体辐射亮度; $I_{10}$ <sup>†</sup>和 $I_{10}$ <sup>†</sup>分别为大气向上和向下的辐射亮度。

地表真实温度(LST)由普朗克定律获取,计算公式 见式(9)。

LST = 
$$K_2 / \ln(K_1 / B_{10}(T_s) + 1)$$
 (9)

式中 $K_1$ 和 $K_2$ 为定标系数,通过影像元数据获取<sup>[34]</sup>。 在指标反演过程中,取水体的地表比辐射率为 0.995;地 表比辐射率  $\epsilon_6$ 和  $\epsilon_{10}$ 通过 Sobrino 提出的 NDVI 阈值法获 取<sup>[35]</sup>。 $\tau_{10}$ 、 $I_{10}$ <sup>†</sup>和  $I_{10}$ <sup>†</sup>参数,参考中纬度夏季标准大气剖 面,依据影像成像时间集合中心经纬度,采用插值大气 剖面的方法获取。

1.2.4 干度指标

应用建筑指数(IBI, index-based built-up index)和 裸土指数(SI, soil index)合成干度指标,记为干度指数 (NDBSI, normalized difference built-up and soil index),

计算方法见式(10)、(11)、(12)。

NDBSI = 
$$(SI+IBI)/2$$
 (10)

$$SI = \frac{(\rho_{SWIR1} + \rho_{red}) - (\rho_{blue} + \rho_{NIR})}{(\rho_{SWIR1} + \rho_{red}) + (\rho_{blue} + \rho_{NIR})}$$
(11)

$$IBI = \{2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) - [\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_{red}) + \rho_{green} / (\rho_{green} + \rho_{SWIR1})]\} / \{2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) + [\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_{red}) + \rho_{green} / (\rho_{green} + \rho_{SWIR1})]\}$$
(12)

式中 $\rho_{blue}$ 、 $\rho_{green}$ 、 $\rho_{red}$ 、 $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{SWIR1}$ 、 $\rho_{SWIR2}$ 分别表示 TM 影像和 OLI 影像所对应的蓝波段、绿波段、红波段、近 红外波段、短波红外 1 波段和短波红外 2 波段的反射率。

1.3 RSEI 综合指数

采用主成分分析法(PCA, principal component analysis)对湿度、绿度、热度和干度分量指标进行集成,以主成分的方差为权重,对经过标准化处理的各评价指标进行综合评价。具体步骤如下:

1) 指标标准化

由于遥感调查所获得的指标量纲不统一,采用极差标准化方法对指标进行标准化处理,将其量纲统一到[0,1],计算方法见式(13)。

$$NI = \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$
(13)

式中 NI (normalized index) 为标准化后的指标值; I 为该 指标的数值大小;  $I_{max}$ 和  $I_{min}$ 分别为该指标在影像中的最 大值和最小值。 2) RSEI 指数计算

对标准化后的各期湿度、绿度、热度、干度指标进 行波段合成,并对合成后的图像进行主成分变换,利用 主成分分析结果构建初始遥感生态指数(RSEI<sub>0</sub>),计算 方法见式(14)。

RSEI<sub>0</sub> = PCA[f(WET, NDVI, LST, NDBSI)] (14) 式中 PCA 表示主成分分析。为便于指标对比,对 RSEI<sub>0</sub> 进行标准化处理生成 RSEI,计算方法见式(15)。

$$RSEI = \frac{RSEI_0 - RSEI_{0\_min}}{RSEI_{0\_max} - RSEI_{0\_min}}$$
(15)

式中 RSEI 为遥感生态指数,其值范围为[0,1],越接近1代表生态环境质量越好。

## 2 研究区概况与基础数据

## 2.1 研究区概况

本研究选取湖南省常德市鼎城区某高标准农田建设 项目作为研究案例。该项目位于鼎城区东北部,地处 112°00′56″E~112°05′23″E,29°09′05″N~29°15′01″N,项 目区位置见图1。项目区属中亚热带向北亚热带过度的季 风湿润气候,日照充足,冬冷夏热,四季分明;多年均 气温16.8 ℃,年降水量1340 mm,全年无霜期约281 d; 项目区地势开阔平坦,平均高程25 m。项目区农业生产 以粮食作物为主,主要种植双季水稻;另有一些经济作 物,主要为棉花、油菜。

项目建设规模 2 867.66 hm<sup>2</sup>,总投资 8 541.78 万元, 实施期为 2011—2013 年。项目共涉及 12 个行政村,实现 新增耕地 217.45 hm<sup>2</sup>,共完成土地平整工程 309.80 hm<sup>2</sup>, 开挖土方 31.18 万 m<sup>3</sup>;新修、整修灌溉渠道、排水沟及 灌排两用渠道 264.23 km,管涵 4 548 座,蓄水池 180 座, 新修泵站 180 座,机耕桥 60 座,输电线路 1.41 km;整 修、新修田间道 297.44 km,生产路 173.81 km。通过项 目实施,完善了项目区内的灌排设施,提升了基础设施 配套水平,完善了田间道路系统,促进农业生产由传统 种植方式向多产业融合发展,形成了"土地整治+全产业 链发展"的特色做法,实现了农业增效和农民增收。

#### 2.2 基础数据与数据处理

本研究所收集的数据包括项目建设资料、遥感影像 资料和实地调研资料。其中:项目建设资料包括项目规 划设计报告、竣工验收报告、项目现状图(1:5000)、 项目竣工图(1:2000);遥感影像资料包括 Landsat 5 TM、Landsat 8 OLI 和 TIRS 影像,获取时间分别为 2011-08-18(整治前)、2013-08-07(整治中)和 2017-08-18 (整治后),成像时间均近于北京时间11时,影像云量 分别为 0.08%、0.64%、2.24%;实地调研资料包括无人 机航拍、农户访谈、问卷调查等。同时,基于遥感生态 指标中的热度指标反演需要,由于数据采集受限,所需 的热红外波段分别来源于 Landsat-5 卫星 TM 传感器和 Landsat-8 卫星 TIRS 传感器,分辨率分别为 120、100 m, 而结果数据分辨率均为 30 m,需分别进行反演计算,故 采取多源遥感数据以支撑本文研究。



Fig.1 Location of land consolidation project area

数据预处理过程如下:1)基于项目资料,应用 ArcGIS10.2 平台,提取研究区边界和项目工程建设数据; 2)基于遥感影像数据,应用 ENVI 5.3 平台进行数据预处 理:①使用二次多项式和最邻近像元法对不同时相的三 景影像进行几何校正,使其均方根误差小于 0.5 个像元以 满足精度要求;②对各时期遥感影像进行辐射定标,将 影像的灰度值转换为传感器的反射率;③使用 FLAASH 大 气校正工具对各期影像的可见光、近红外波段进行大气 校正,消除大气和光照等因素对地物反射的影响;④使用 项目区边界对所有数据进行裁剪。

## 3 结果分析

#### 3.1 RSEI 模型构建与检验

## 3.1.1 RSEI 模型构建

将标准化后的各期湿度、绿度、热度、干度指标进 行波段合成,并对合成后的新图像进行 PCA 变换,得到 主成分分析的结果,见表 1。结果显示:①3 个阶段各指 标的第一主成分的贡献率分别为 62.99%、72.70%和 66.89%,表明第一主成分集中了 4 项指标的大部分特征; ②在第一主成分中,湿度指标(WET)和绿度指标(NDVI) 为正值,表明二者对生态环境质量具有促进作用;热度 指标(LST)和干度指标(NDBSI)为负值,说明这 2 项 指标对生态环境质量具有负面影响;3 个阶段中干度的系 数均最大,说明其对项目区生态环境质量的影响最大; ③其他主成分指标的符号和大小均不稳定,结果解释力 度较弱,故仅使用第一主成分进行模型构建。为计算结 果与生态环境质量相对应,采用 1-PC1 获得初始生态指数 RSEI<sub>0</sub><sup>[13]</sup>,并进一步对 RSEI<sub>0</sub>进行标准化处理,得到 RSEI 指数。

	表 1 主成分分析结果
Table 1	Result of principal component analysis

阶段 Stage	指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4
	WET	0.258	-0.742	0.307	0.538
	NDVI	0.365	0.608	-0.068	0.702
整治前 Poforo	LST	-0.430	0.264	0.860	0.079
land	NDBSI	-0.785	-0.106	-0.402	0.460
ation	特征值 Eigenvalue (RSEI)	0.094	0.035	0.018	0.002
	特征值贡献率 Percent eigenvalue%	62.99	23.59	13.21	1.17
	WET	0.587 2	0.015 7	0.582 8	0.561 5
	NDVI	0.243 5	-0.5406	-0.666	0.452 1
整治中	LST	-0.458	-0.7591	-0.462	0.020 2
land	NDBSI	-0.622	0.3623	-0.051	0.693
consolid- ation	特征值 Eigenvalue (RSEI)	0.116	0.027	0.015	0.001
	特征值贡献率 Percent eigenvalue%	72.70	16.93	9.48	0.88
	WET	0.520	0.257	0.545	0.606
整治后 After land consolid- ation	NDVI	0.264	-0.695	-0.462	0.484
	LST	-0.440	-0.595	0.672	0.026
	NDBSI	-0.683	0.311	-0.197	0.631
	特征值 Eigenvalue (RSEI)	0.098	0.030	0.016	0.002
	特征值贡献率 Percent eigenvalue%	66.89	20.59	11.26	1.26

注: WET、NDVI、LST、NDBSI、RSEI 分别指湿度、绿度、热度、干度、遥 感生态指数指标: PC1、PC2、PC3、PC4 分别指第一、二、三、四主成分。 Note: WET, NDVI, LST, NDBSI and RSEI, referring respectively to humidity, green degree, heat, dryness, and remote sensing ecological index; PC1, PC2, PC3 and PC4, referring respectively to the first, second, third and fourth principal component.

#### 3.1.2 RSEI 模型检验

采用相关系数检验模型的适用性<sup>[13]</sup>,当相关系数值越接近 1,表明 RSEI 的综合代表程度越高,模型的适宜性越强。计算方法见式(16)。

$$\overline{C}_{P} = \frac{\left|C_{Q}\right| + \left|C_{R}\right| \cdots \left|C_{S}\right|}{n-1} \tag{16}$$

式中 P、Q、R、S等是指进行相关分析的指标,  $\overline{C_P}$ 为指标 P的平均相关度,  $C_Q$ 、 $C_R$ 、 $C_S$ 分别表示同一时期指标 P = O、R、S的相关系数; n为指标个数。

各指标与 RSEI 的相关系数,以及各指标之间的相关 系数见表 2。就单指标而言,指标间相关度最高的是 NDBSI,3 个阶段的均值为 0.788;其后依次为 WET、LST 和 NDVI,各阶段的均值分别为 0.737、0.698 和 0.670; 而 RSEI 与4项指标各年的相关系数均大于 0.8,表明 RSEI 指标较单一指标更具代表性。

阶段 Stage	指标 Index	WET	NDVI	LST	NDBSI	RSEI
	WET	1.000	0.720	-0.635	-0.838	0.838
整治前	NDVI	0.720	1.000	-0.542	-0.760	0.852
Before land	LST	-0.635	-0.542	1.000	0.869	-0.832
consolida tion	NDBSI	-0.838	-0.760	0.869	1.000	-0.941
tion	平均相关度 Mean correlation	0.731	0.674	0.682	0.822	0.821
	WET	1.000	0.736	-0.683	-0.798	0.792
整治中	NDVI	0.736	1.000	-0.718	-0.569	0.907
During land	LST	-0.683	-0.569	1.000	0.836	-0.825
consolida tion	NDBSI	-0.798	-0.718	0.836	1.000	-0.925
	平均相关度 Mean correlation	0.739	0.674	0.746	0.734	0.816
	WET	1.000	0.698	-0.676	-0.848	0.838
整治后	NDVI	0.698	1.000	-0.520	-0.765	0.833
After land	LST	-0.676	-0.520	1.000	0.808	-0.929
consolida tion	NDBSI	-0.848	-0.765	0.808	1.000	-0.952
	平均相关度 Mean correlation	0.741	0.661	0.668	0.807	0.851
	相关度 3 年均值 Mean correlation of 3 years	WET:	0.737; N NDBSI:	DVI: 0.67 0.788; RS	70; LST: SEI: 0.829	0.698; )

表 2 分项指标与 RSEI 指数的相关性矩阵 Table 2 Correlation matrix among RSEI and 4 factors

#### 3.2 项目区生态环境质量总体评价

基于整治前、中、后期 3 个阶段的项目区生态环境 质量各分量指标及 RSEI 均值变化见图 2 和表 3。



Fig.2 RSEI values of the project area before, during, and after land consolidation

1) 各分量指标变化情况: ①整治前、中、后期,湿度 指标持续增加;绿度指标整治中略有下降而后有所提升; 热度指标整治中增加显著,而后有一定下降;干度指标 逐年增加,且整治后的变化幅度更大。②湿度 WET 与绿 度NDVI对PC1的荷载值为正值,热度LST与干度NDBSI 对 PC1 的荷载值为负值; 且 NDBSI 对 PC1 的荷载值绝 对值最大,其后依次为WET、LST、NDVI。基于实地调 研结果,项目区整治前、中、后,作物种植类型基本不变,

但产量发生一定变化,双季稻亩均总产量在整治前、中、 后的亩均产量分别为 11 100、10 950 和 11 250 kg/hm<sup>2</sup>; 同时,整治后项目区灌溉保证率得到提高,农业生产稳 定性有所增强;新建或改建道路、沟渠、桥涵、泵站等 基础设施增加了一定的不透水区面积:现场调研情况印 证了 NDVI、WET、LST、NDBSI 等指标的变化。

表 3 4个指标和遥感生态指数 RSEI 的均值变化 Table 3 Mean values of four indicators and RSEI

阶段 Stage	项目 Category	WET	NDVI	LST	NDBSI	RSEI
整治前 Before land consolidation	均值 Mean value	0.359	0.819	0.350	0.358	0.652
	对 PC1 的荷载值 PC1 load	0.258	0.365	-0.430	-0.785	0.032
整治中 During land consolidation	均值 Mean	0.511	0.814	0.493	0.418	0.572
	对 PC1 的荷载值 PC1 load	的荷载值 0.587 0 1 load		-0.458	-0.622	0.572
整治后 After land consolidation	均值 Mean value	0.577	0.833	0.475	0.447	0.605
	对 PC1 的荷载值 PC1 load	0.520	0.264	-0.440	-0.683	0.005

2) RSEI 总均值变化情况:依据 RSEI 的表征涵义, 从图 2 可以看出, 整治前, 项目区整体生态环境质量相 对最好: 整治中, 项目区生态环境质量相对较差: 整治 后,项目区生态环境质量相对处于中等。依据表 3,从整 治前到整治中, RSEI 下降了 12.27%; 从整治中到整治后, 提升了 5.77%; 从整治前到整治后, 总体下降 7.21%。总 体上, RSEI 总均值呈"先下降-后上升-整体下降"的态势。

为更好地分析 RSEI 的代表性,进一步对 RSEI 进行 定量分级与可视化分析,以0.2为间隔,从小到大划分为 5个等级,分别为:差、较差、中等、良、优,各等级所 占面积及比例的统计结果如表 4 所示。

表 4 项目区整治前后生态环境质量等级面积和比例 Table 4 Area and proportion of RSEI class of the project area and after land a sussilidet

hafana dunina

before, during, and after fand consolidation										
RSEI 等级 RSEI basic level	整注 Befor consol	台前 e land idation	整注 Durin consol	台中 g land idation	整治后 After land consolidation					
	面积 Area/km <sup>2</sup>	百分比 Percent/%	面积 Area/km <sup>2</sup>	百分比 Percent/%	面积 Area/km <sup>2</sup>	百分比 Percent/%				
差 Poor	0.817	3.48	1.405	5.98	1.265	5.39				
较差 Inferior	1.319	5.62	2.691	11.46	1.812	7.72				
中等 Medium	2.858	12.17	10.094	43.00	5.541	23.61				
良 Good	9.341	39.79	7.139	30.41	10.579	45.07				
优 Excellent	9.140	38.93	2.146	9.14	4.278	18.22				

结果表明, 整治前, 项目区 RSEI 等级主要为"优、 良",相应占比分别为38.93%、39.79%;整治中,RSEI 等级主要为"中等",相应占比为43.00%;整治后,RSEI 等级主要为"良",相应占比为45.07%。项目区整治前、

中、后 RSEI 等级处在良及以上的区域占比分别为 78.73%、39.55%和 63.29%,处在中等及以下的区域占比 分别为 21.27%、60.45%和 36.71%。总体上,RSEI 优良 等级从整治前到整治中降低 39.18%,从整治中到整治后 提升 23.74%,从整治前到整治后降低 15.44%。

#### 3.3 项目区生态环境质量变化监测

基于整治期(整治前-整治中)、恢复期(整治中-整治后)和全过程(整治前-整治后)3个阶段,对RSEI 的5个等级(差、较差、中等、良、优)进行等级差值 划分,根据各等级向其他等级的变化,分为-4级到4级, 共归为3个级差类和9个级差。①级差类:包括变差、 不变、变好三类;所有负值级差归为"变差",0值级差 归为"不变",所有正值级差归为"变好"。②级差: 等级范围[-4,4];每相邻两个等级的变化幅度为1级(依 次类推),负值为高级向低级变化,生态环境质量变差, 0值表征生态环境质量保持不变,正值表征生态环境质量 变好。结果如图3、表5所示。

结果表明,①级差类变化情况:在整治期,项目区整体 RSEI 表征"变差"比例最高,达 62.48%,其后依次为不变、变好;在恢复期,项目区整体 RSEI 表征"变好"比例最高,达 44.39%,其后依次为不变、变差;在

全过程中,项目区整体 RSEI 表征"不变"比例最高,达 46.25%,其后依次为变差、变好。②级差变化情况:按 细分极差比较,在各个阶段,大部分等级变化集中在-1 级、-2级、0级和1级。在全过程中,0级占比最高;同 时,分别有 33.65%和 7.65%的区域降低1个等级和2个 等级,相应仅分别有 10.21%和 0.91%的区域提升1个等 级和2个等级,正负向等级变化程度较为不均衡。





Table 5         Change detection of RSEI of project area before, during, and after land consolidation													
级差类 Class	级差 Level	整治期 Consolidation period				恢复期 Recovery period				全过程 Overall process			
		级面积 Level area/km <sup>2</sup>	级比例 Level percent/%	类面积 Class area/km <sup>2</sup>	类比例 Class percent/%	级面积 Level area/km <sup>2</sup>	级比例 Level percent/%	类面积 Class area/km <sup>2</sup>	类比例 Class percent/%	级面积 Level area/km <sup>2</sup>	级比例 Level percent/%	类面积 Class area/km <sup>2</sup>	类比例 Class percent/%
变差 Worse	-4	0.100	0.43		62.48	0.018	0.08	3.635	15.49	0.031	0.13	9.987	42.55
	-3	0.615	2.62	14 667		0.088	0.38			0.271	1.15		
	-2	4.225	18.00	14.007		0.519	2.21			1.787	7.61		
	-1	9.728	41.44			3.010	12.82			7.898	33.65		
不变 Unchanged	0	6.994	29.79	6.994	29.79	9.419	40.12	9.419	40.12	10.858	46.25	10.858	46.25
	1 1.619	6.90			7.989	34.03			2.396	10.21			
变好 Better	2	0.172	0.73	1.012	7.72	2.079	8.86	10.420	44.39	0.214	0.91	2.629	11.20
	3	0.019	0.08	1.815		0.306	1.30			0.018	0.08		
	4	0.003	0.01			0.046	0.20			0.001	0		

表 5 项目区整治前后生态环境质量等级变化监测 ble 5 Change detection of RSEI of project area before, during, and after land consolidation

# 4 结论与展望

为在项目区尺度实现科学合理、客观直接、长期全面的生态环境质量监测评估,本研究基于多源遥感数据,尝试应用 RSEI,选取高标准农田建设区为案例,以整治前后共 6 年为研究期,对项目区尺度下的土地整治全过程生态环境质量变化进行分析。研究结果表明:1)对该项目所在区域而言,湿度和绿度指标对项目区生态环境质量起正向作用,而热度和干度指标起负向作用,且干度指标影响最大;2)在整治前、中、后阶段,RSEI 优良区域占比分别为 78.73%、39.55%和 63.29%;在整治期、恢复期、全过程阶段,RSEI 主要变化状态为变差、变好、

不变,相应比率分别为 62.48%、44.39%、46.25%;在整个研究期,RSEI 变差、不变和变好的比例分比为 42.55%、 46.25%和 11.20%;3)项目区生态环境质量呈现"先下降-后上升-整体下降"的态势,表现为"整治期变差-恢 复期变好-全过程变差"的总体特征,土地整治对项目区 生态环境的扰动具有持续性,区域生态环境恢复与改善 存在滞后期,在项目竣工 5年后该项目区的生态环境质 量水平仍低于整治前。

土地整治工程实施、设施利用以及农业生产,伴随 着地表资源重构,直接或间接影响土壤理化性质、地表 湿热状态、地表覆被变化,从而引起项目区湿度、绿度、 热度、干度等指标不同程度的响应变化,进而对区域生

态环境质量产生持续性影响,并在整治前后不同阶段呈 现出一定的时空变化规律。具体而言:在时间上,整治 期间,工程建设对土壤理化性质、地表覆被等造成阶段 性负面影响, 生态环境质量明显下降; 恢复期间, 得益 于工程设施利用,区内灌溉保证率、作物长势等得以改 善与提升,生态环境质量有所恢复;总体上,项目区生 态环境质量先下降后上升,但恢复后的生态环境质量水 平低于整治前,主要由于建后投入生产的道路、沟渠等 不透水面区域占地面积较整治前有一定增加。在空间上, 基于研究结果、无人机影像识别以及现场调研的印证, 各阶段生态环境质量较差的区域主要分布在设施区与村 庄区, 生态环境质量变化较大的区域则主要分布在设施 区与农田区,由此反映出工程实施以及不透水面对项目 区生态环境质量的负面影响较为显著,设施利用以及农 业生产对项目区生态环境质量的正向作用较为显著。依 据前述分析,对土地整治工程进行包括理念提升与技术 升级在内的生态化转型将是影响土地整治项目区生态环 境质量的关键因素,例如将生态理念贯穿项目规划设计、 工程实施、后期管护等环节;应用环境友好型田间沙石 路面添加剂、软体护坡材料、重金属钝化剂、保水保肥 剂等新兴环保型材料;进行生态沟渠设计与建设,采用 生态衬砌方式代替传统预制板衬砌;进行生态化道路设 计与建设,采用泥结石路面,在路面与路基之间埋种草 籽,代替传统的砂砾石路面。

本研究尚存在一定不足:第一,土地整治工程实施 以及后续农业生产改变了土壤水分、土壤温度、土壤结 构与质地等,影响了土壤质量,本研究评价指标仅反映 了土壤水分与土壤温度,对土壤肥力监测的全面性和有 效性仍有待提高;第二,受限于客观条件,不同时期的 遥感影像质量存在细部差异,可能导致计算结果出现一 定偏差;第三,土地整治对区域生态环境质量影响的内 在机理仍有待深入,后期可根据不同工程对生态环境 影响的关键因素,进一步探究核算方法,优化监测评估 模型。

## [参考文献]

- [1] 郧文聚, 宇振荣. 中国农村土地整治生态景观建设策略[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 1-6.
   Yun Wenjun, Yu Zhenrong. Ecological landscaping strategy of rural land consolidation in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(4): 1-6. (in Chinese with English abstract)
- [2] 龙花楼. 论土地整治与乡村空间重构[J]. 地理学报, 2013, 68(8): 1019-1028.
  Long Hualou. Land consolidation and rural space restructuring[J].
  Acta Geographica Sinica, 2013, 68(8): 1019-1028. (in Chinese with English abstract)
- [3] 严金明,夏方舟,马梅.中国土地整治转型发展战略导向研究[J].中国土地科学,2016,30(2):3-10.
  Yan Jinming, Xia Fangzhou, Ma Mei. Strategy orientations of transformation development: Land consolidation in the new period of China[J]. China Land Science, 2016, 30(2):

3-10. (in Chinese with English abstract)

- [4] 王军,钟莉娜. 土地整治工作中生态建设问题及发展建议
  [J]. 农业工程学报, 2017, 33(5): 308-314.
  Wang Jun, Zhong Lina. Problems and suggestion for developing ecological construction in land management work[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(5): 308-314. (in Chinese with English abstract)
- [5] 郧宛琪,朱道林,汤怀志. 中国土地整治战略重塑与创新[J]. 农业工程学报,2016,32(4):1-8.
  Yun Wanqi, Zhu Daolin, Tang Huaizhi. Reshaping and innovation of China land consolidation strategy[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(4):1-8. (in Chinese with English abstract)
- [6] 孙东琪,张京祥,朱传耿,等.中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析[J].地理学报,2012,67(12):1599-1610.
  Sun Dongqi, Zhang Jingxiang, Zhu Chuangeng, et al. An assessment of China's ecological environment quality change and its special univitient.

and its spatial variation[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(12): 1599–1610. (in Chinese with English abstract)

- [7] 柴燕妮,魏冠军,侯伟,等.空间视角下的多尺度生态环境质量评价方法[J]. 生态学杂志,2018,37(2):596-604.
  Chai Yanni, Wei Guanjun, Hou Wei, et al. Multi-scale eco-environmental quality evaluation method from a spatial perspective[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(2):596-604. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王晓君,吴敬学,蒋和平.中国农村生态环境质量动态评价及未来发展趋势预测[J].自然资源学报,2017,32(5):864-876.
  Wang Xiaojun, Wu Jingxue, Jiang Heping. Dynamic assessment and trend prediction of rural eco-environmental quality in China[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(5):864-876. (in Chinese with English abstract)
- [9] 顾成林,李雪铭. 基于模糊综合评价法的城市生态环境质量综合评价:以大连市为例[J].环境科学与管理,2012,37(3):172-187.
  Gu Chenglin, Li Xueming. The evaluation of urban ecological environment quality based on fruzzy comprehensive evaluation method-case of Dalian[J]. Environmental Science and Management, 2012, 37(3): 172-187. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘轩,岳德鹏,马梦超.基于变异系数法的北京市山区小流域生态环境质量评价[J].西北林学院学报,2016,31(2):66-71.
   Liu Xuan, Yue Depeng, Ma Mengchao. Small watershed

eco-environmental quality appraisal of Beijing mountain area based on coefficient variation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(2): 66-71. (in Chinese with English abstract)

- [11] Malekmohammadi B, Blouchi L R. Ecological risk assessment of wetland ecosystems using multi criteria decision making and geographic information system[J]. Ecological Indicators, 2014, 41: 133-144.
- [12] 傅伯杰,刘字. 国际生态系统观测研究计划及启示[J]. 地 理科学进展,2014,33(7):893-902.
  Fu Bojie, Liu Yu. Global ecosystem observation and research programs: Evolution and insights for future development[J].
  Progress in Geography, 2014, 33(7): 893-902. (in Chinese

241

with English abstract)

- [13] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7853-7862.
  Xu Hanqiu. A remote sensing urban ecological index and its application[J]. Acta Ecological Sinica, 2013, 33(24): 7853-7862. (in Chinese with English abstract)
- [14] 董玉红,刘世梁,王军,等.基于景观格局的土地整理风 险与固碳功能评价[J]. 农业工程学报,2017,33(7): 246-253.
   Dong Yuhong, Liu Shiliang, Wang Jun, et al. Assessment of

risk and carbon sequestration function of land consolidation based on landscape pattern[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(7): 246–253. (in Chinese with English abstract)

- [15] 郭贝贝,金晓斌,林忆南,等.基于生态流方法的土地整 治项目对农田生态系统的影响研究[J].生态学报,2015, 35(23): 7669-7681.
  Guo Beibei, Jin Xiaobin, Lin Yinan, et al. Determining the effect of the land consolidation project on the cropland ecosystem based on the ecological flow method[J]. Acta Ecological Sinica, 2015, 35(23): 7669-7681. (in Chinese with English abstract)
- [16] 喻光明,鲁迪,林小薇,等.土地整理规划中的自然生态 补偿评价方法探讨[J]. 生态环境,2008,17(4):1702-1706.
  Yu Guangming, Lu Di, Lin Xiaowei, et al. On the assessment methodology of natural ecological compensation for land consolidation planning[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(4): 1702-1706. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张庶,金晓斌,杨绪红,等.农用地整治项目的碳效应分析与核算研究[J].资源科学,2016,38(1):93-101.
  Zhang Shu, Jin Xiaobin, Yang Xuhong, et al. Determining and estimating impacts of farmland consolidation projects on the regional carbon effects[J]. Resources Science, 2016, 38(1):93-101. (in Chinese with English abstract)
- [18] 费罗成,吴次芳,程久苗.农村土地整治的碳效应及其政策响应[J].资源科学,2017,39(11):2073-2082.
  Fei Luocheng, Wu Cifang, Cheng Jiumiao. Carbon effect of rural land consolidation and its policy response[J]. Resources Science, 2017, 39(11):2073-2082. (in Chinese with English abstract)
- [19] 祁乐,高明,杨来淑,等.土地整理对岩溶区土壤微生物 生物量碳、氮及酶活性的影响:以重庆丰都县三坝乡为例
  [J].中国岩溶,2015,34(1):86-94.
  Qi Le, Gao Ming, Yang Laishu, et al. The effect of land integration on soil microbial biomass carbon, nitrogen and enzyme activity in karst areas: An example of Sanba township, Fengdu county, Chongqing City[J]. Carsologica Sinica, 2015, 34(1): 86-94. (in Chinese with English abstract)
- [20] 孙彭成,高建恩,韩赛奇,等.黄土丘陵沟壑区沟道土地 整治对径流一泥沙一氮素排放影响的模拟研究[J]. 农业 环境科学学报, 2017, 36(6): 1177-1185.
  Sun Pengcheng, Gao Jianen, Han Saiqi, et al. Simulation study on the effects of typical gully land consolidation on runoff-sediment-nitrogen emissions in the loess hilly-gully region[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(6): 1177-1185. (in Chinese with English abstract)
- [21] 王千. 基于农业生产风险的关中地区土地整治分区研究 [D]. 南京:南京大学,2012.

Wang Qian. The Research of Land Consolidation Sub-zoning based on Risk Assessment of Agricultural Production of Guanzhong Region[D]. Nanjing: Nanjing University, 2012. (in Chinese with English abstract)

- [22] 谭少军, 邵景安. 基于生态适宜性评价的西南丘陵区土地 整治工程布局研究土地整理生态评价的方法与案例[J]. 资源科学, 2018, 37(4): 659-677.
  Tan Shaojun, Shao Jingan. Land consolidation project layout based on ecological suitability evaluation in hilly areas of Southwest China[J]. Geographical Research, 2018, 37(4): 659-677. (in Chinese with English abstract)
- [23] 朱彦刚,胡石元,张奇.基于关联度分析法的土地整理生态环评研究[J]. 测绘信息与工程,2008,33(1):30-32.
  Zhu Yangang, Hu Shiyuan, Zhang Qi. Land consolidation ecological environment impact assessment based on correlative degree analysis method[J]. Journal of Geomatics, 2008, 33(1):30-32. (in Chinese with English abstract)
- [24] 欧阳彦,刘秀华.基于熵权物元可拓模型的土地整理生态 环境影响评价:以老河口市孟楼镇基本农田整理项目为例 [J].西南师范大学学报:自然科学版,2009,34(6):67-73.

Ouyang Yan, Liu Xiuhua. Eco-environment impact assessment on land consolidation based on entropy-weighted matterelement model: A case study of the land consolidation project in Menglou Town, Laohekou City[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2009, 34(6): 67-73. (in Chinese with English abstract)

- [25] 樊敏,刘耀林,吴艳娟,等. 基于云模型的土地整理生态 影响评价研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2008, 33(9): 986-987.
  Fan Min, Liu Yaolin, Wu Yanjuan, et al. Ecological impact evaluation for land consolidation based on cloud model[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(9): 986-987. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张正峰,赵伟.土地整理的生态环境效应分析[J].农业工程学报,2007,23(8):281-285.
  Zhang Zhengfeng, Zhao Wei. Effects of land consolidation on ecological environment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007,23(8):281-285. (in Chinese with English abstract)
- [27] Demetriou D, Stillwell J, See L. Land consolidation in Cyprus: Why is an Integrated Planning and Decision Support System required[J]. Land Use Policy, 2012, 29(1): 131–142.
- [28] Sklenicka P, Ší mová P, Hrdinová K, et al. Changing rural landscapes along the border of Austria and the Czech Republic between 1952 and 2009: Roles of political, socioeconomic and environmental factors[J]. Applied Geography, 2014, 47: 89–98.
- [29] 洪长桥,金晓斌,陈昌春,等.基于多源遥感数据融合的 土地整治区产能动态监测:方法与案例[J].地理研究, 2017,36(9):1787-1800.
  Hong Changqiao, Jin Xiaobin, Chen Changchun, et al. Dynamically monitoring productivity of cultivated land enrolled in land consolidation programs based on fusing multi-source remote sensing data: Methodology and a case study[J]. Geographical Research, 2017, 36(9): 1787-1800. (in Chinese with English abstract)
- [30] 王士远,张学霞,朱彤,等.长白山自然保护区生态环境 质量的遥感评价[J].地理科学进展,2016,35(10): 1269-1278.

Wang Shiyuan, Zhang Xuexia, Zhu Tong, et al. Assessment of ecological environment quality in the Changbai Mountain Nature Reserve based on remote sensing technology[J]. Progress in Geography, 2016, 35(10): 1269 – 1278. (in Chinese with English abstract)

- [31] Crist E P. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data[J]. Remote sensing of Environment, 1985, 17(3): 301-306.
- [32] Baig M H A, Zhang L F, Shuai T, et al. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance[J]. Remote Sensing Letters, 2014, 5(5): 423-431.
- [33] Yu X L, Guo X L, Wu Z C. Land surface temperature retrieval from Landsat8 TIRS: Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method[J]. Remote Sensing, 2014, 6(10): 9829-9852.
- [34] NASA. Landsat8 (L8) data users handbook[EB/OL]. 2016-03-29[2016-04-20]. http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8 DataUsersHandbook.pdf.
- [35] Sobrino J A, Jiménez-Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from Landsat TM5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.

# Dynamical monitoring of ecological environment quality of land consolidation based on multi-source remote sensing data

Shan Wei<sup>1</sup>, Jin Xiaobin<sup>1,2\*</sup>, Meng Xiansu<sup>3</sup>, Yang Xiaoyan<sup>3</sup>, Xu Zhigang<sup>1</sup>, Gu Zhengming<sup>1</sup>, Zhou Yinkang<sup>1,2</sup>

(1. College of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Key Laboratory of Coastal Zone Exploitation and Protection, Ministry of Land and Resources, Nanjing 210023, China;

3. Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Land consolidation is one of the important means to safeguard national food security, support rural revitalization strategy, optimize the allocation of land resources, and promote the construction of ecological civilization. Ecological transformation is the inevitable trend for the development of land consolidation. It is quite important to carry out scientific and reasonable, objective and direct, and long-term comprehensive monitoring and evaluation of ecological environmental quality at project area scale. Based on remote sensing technology, RSEI (remote sensing ecological index) model can quickly, objectively and quantitatively evaluate regional ecological environment quality, and realize visual representation, time-space analysis, simulation and prediction of regional ecological environment quality changes. Applying multi-source remote sensing data and taking 6 years before and after land consolidation as study period, this research constructed the RSEI model with principal component analysis, and retrieved values of the wetness, greenness, heat, and dryness indicators and RSEI index to monitor and analyze ecological environmental quality in a typical land consolidation project. The standard values in the research are: 1) RSEI ranges from 0 to 1, and the closer to 1 the value, the better the ecological environment quality. 2) The RSEI basic level is divided into 5 levels from small to large, i.e. "poor, inferior, medium, good, and excellent". 3) Based on the RSEI basic level, the RSEI level is divided into 9 subdivision levels (from -4 to 4) and 3 classes (worse, unchanged and better). All negative subdivision levels are classified as "worse", 0-value is classified as "unchanged", and all positive subdivision levels are classified as "better". The result shows: 1) The wetness and greenness indicators have a positive effect on promoting the ecological environment quality of the region, while the heat and dryness indicators have a restraining effect on the regional ecological environment quality, and the dryness indicator is more significant than the other 3 indicators. 2) Before, during, and after the land consolidation, the mean values of RSEI are 0.652, 0.572, and 0.605, respectively, and the proportion of excellent plus good RSEI class accounts for 78.73%, 39.55%, and 63.29% respectively in 3 periods. Meanwhile, the degenerated, unchanged, and improved RSEI classes are 42.55%, 46.25%, and 11.20% of the total area, respectively. 3) In this project area, the ecological environment quality presents a trend of decreasing firstly and increasing later, with an overall trend of decreasing, which are the characteristics of "turning worse during the consolidation period, getting better during the recovery period, and becoming worse in the overall process". Land consolidation causes persistent disturbance to the ecological environment, and there is a lag to restore and improve regional ecological environment. Five years after the project completion, the ecological environment quality level is still lower than before. The project area is the direct target of land consolidation and the carrier of benefit manifestation. This study can provide certain theoretical guidance and method reference for the continuous monitoring and dynamic assessment of ecological environment quality at the project area scale. Furthermore, it can provide certain method reference and data support to improve the local ecological environment, ensure the quality of cultivated land, improve agricultural production conditions, and promote regional sustainable development in some degree.

Keywords: land consolidation; ecology; remote sensing; environment quality; dynamically monitoring; RSEI index