

1985—2015 年洛川塬土地利用/覆被变化及人类活动影响——以陕西省洛川县为例

张瑞华¹, 金 钊^{1,2,3*}, 杨思齐^{2,4}, 彭建兵¹

1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 西安 710054

2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061

3. 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越中心, 西安 710061

4. 北京师范大学 全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875

摘 要: 洛川塬是黄土高原第二大黄土塬面, 也是黄土高原面积最大的苹果种植区。近几十年来, 由于塬面高强度人类活动影响, 洛川塬沟道侵蚀剧烈, 塬面萎缩呈现逐年加剧的趋势, 严重影响了塬区的生产、生活和生态安全。因此, 清晰了解近几十年来洛川塬土地利用 / 覆被变化及人类活动影响, 对于洛川塬的保护和水土流失治理至关重要。本文使用遥感、地理信息系统和数学方法, 以洛川塬主体洛川县为例, 对洛川县 1985 年、2000 年和 2015 年的土地利用数据进行了解译, 分别从土地利用变化速度、转移方向和土地利用程度三方面综合分析了洛川县近 30 a 土地利用时空变化的规律及人类活动影响。研究结果表明: (1) 1985—2015 年洛川县主要的土地利用类型为林地、草地和耕地, 三者面积占比达 91.29%; 近 30 a 土地利用变化最大的特点为建设用地面积持续增加且增幅最大, 共增加了 117.16 km², 年均增加 5.11%, 其中 1985—2000 年建设用地面积增加了 38.13 km², 2000—2015 年增加了 79.03 km², 建设用地面积的增加主要由耕地转入; (2) 近 30 a 人类活动对洛川县土地利用变化的影响主要体现在林地、草地、耕地、建设用地之间的转换; 前 15 a (1985—2000 年) 林草地面积减少, 耕地和建设用地面积增加; 后 15 a (2001—2015 年) 林草地和建设用地面积增加, 耕地面积减少; (3) 近 30 a 洛川县的综合土地利用动态指数呈现增加趋势但增幅较小, 前 15 a (1985—2000 年) 综合土地利用动态指数小于后 15 a (2001—2015 年), 表明后期人类活动对土地利用综合开发利用起到积极的影响。

关键词: 洛川县; 土地利用 / 覆被变化; 人类活动; Landsat 影像

Land use/land cover change and impacts of human activities in Luochuan tableland in 1985—2015: a case study of the Luochuan County of Shaanxi Province, China

ZHANG Ruihua¹, JIN Zhao^{1,2,3*}, YANG Siqi^{2,4}, PENG Jianbing¹

1. School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

收稿日期: 2022-01-12; 录用日期: 2022-03-28; 网络出版: 2022-04-15

Received Date: 2022-01-12; Accepted Date: 2022-03-28; Online first: 2022-04-15

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (B 类) (XDB40000000); 国家自然科学基金项目 (41790444)

Foundation Item: Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences (XDB40000000); National Natural Science Foundation of China (41790444)

通信作者: 金 钊, E-mail: jinzhao@ieecas.cn

Corresponding Author: JIN Zhao, E-mail: jinzhao@ieecas.cn

引用格式: 张瑞华, 金 钊, 杨思齐, 等. 2023. 1985—2015 年洛川塬土地利用 / 覆被变化及人类活动影响——以陕西省洛川县为例 [J]. 地球环境学报, 14(1): 74–85.

Citation: Zhang R H, Jin Z, Yang S Q, et al. 2023. Land use/land cover change and impacts of human activities in Luochuan tableland in 1985—2015: a case study of the Luochuan County of Shaanxi Province, China [J]. *Journal of Earth Environment*, 14(1): 74–85.

3. CAS Center for Excellence in Quaternary Science and Global Change, Xi'an 710061, China

4. College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Background, aim, and scope Loess tableland is the most valuable land resource on the Chinese Loess Plateau (CLP). However, the plateau surface of the loess tableland has experienced serious soil and water loss due to headward erosion. Luochuan County of Shaanxi Province is the main body of the Luochuan tableland, which is the second largest tableland on the CLP. In recent years, an increasing number of studies have focused on gully consolidation and tableland protection in Luochuan County. However, information on land use and land cover change, especially the expansion of urban areas on the tableland of Luochuan County, is rare. In this study, the land use and land cover change in Luochuan County between 1985 and 2015 was characterized, and the aim was to quantify the dynamics of land use/land cover change and elucidate the impacts of human activities. **Materials and methods** Landsat images were collected, and the sensor types were TM and OLI. The spatial resolution of the Landsat images was 30 m. All images were pre-processed and classified by ENVI software. ArcGIS and Google Earth software were used to interpret the results of supervised classification to improve the accuracy of the results. **Results** (1) Woodland, grassland and arable land were the main land use types in Luochuan County between 1985 and 2015, occupying more than 90% of the total land area. During the past 30 years, the area of construction land exhibited the most significant increase; specifically, the area increased by 117.16 km², and the annual rate of increase was 5.11%. In 1985—2000, the area of construction land increased by 38.13 km², and in 2000—2015, the area of construction land increased by 79.03 km². (2) Over the past 30 years, the main characteristics of land use change were the mutual conversions of woodland, grassland, arable land and construction land. In the first 15 years (1985—2000), the woodland and grassland showed a change pattern of first decreasing and then increasing; in the latter 15 years (2001—2015), the arable land showed a change pattern of first increasing and then decreasing. The areas of unused land and waterbodies changed less during the past 30 years. (3) Over the past 30 years, the comprehensive land use dynamics in Luochuan County showed an increasing trend, which indicated that human activities have gradually increased in the area. However, human activities are changing to a conservation role based on the directions of land use change in Luochuan County. **Discussion** In 1985—2015, the land use and land cover patterns in Luochuan County changed greatly, and the change pattern had a close relationship with the implementation of the national policy, e.g., the policy of converting cropland to woodland and grassland and China western development. For example, the arable land area of Luochuan County first increased and then decreased in 1985—2000, with a total increase of 107.14 km². This result is related not only to the implementation of the production contract responsibility system in rural areas from 1985 to 1990 but also to the reclamation of most grassland and woodland into arable land. The construction land area of Luochuan County increased continuously from 1985 to 2015, with an average annual growth of approximately 11.60%, mainly from arable land, and this change is indicative of the strong economic development in Luochuan County. With the continuous expansion of the urbanization area and the continuous expansion of the traffic network, the water and soil loss on the tableland and erosion of the ditches have accelerated. Moreover, the soil anti-scourability in the loess area was different under different vegetation conditions. The research results showed that the impact of human activities on land use/cover change in Luochuan County from 1985 to 2015 was mainly reflected by the mutual conversion between woodland, grassland, arable land and construction land, and human activities had an important role in promoting the conversion of land use types and have further affected the water and soil loss and gully erosion in the Loess Plateau area. **Conclusions** In this study, we conclude that modern human activity, e. g. urbanization, is the major driver of land use change on the Luochuan tableland, which showed the most significant increase of land area. Moreover, the transitions of woodland, arable land, grassland are more influenced by ecological

policy implemented on the CLP. **Recommendations and perspectives** When using software for supervised classification, remote sensing images with a long history have the disadvantage of insufficient resolution, which will result in the results facing the risk of insufficient accuracy. It is suggested that the recognition accuracy can be improved in the future by using a large amount of data training in deep learning.

Key words: Luochuan County; land use/cover change; human activities; Landsat imagery

土地利用/覆被变化 (land use/cover change, LUCC) 作为当前全球变化与可持续发展研究的热点内容之一, 其与人类生产生活密切相关, 既影响自然生态环境的演变, 还会影响经济社会的可持续发展 (苏明伟等, 2021)。早期的土地利用研究偏重于定性分析, 但从上世纪 70 年代地球资源卫星发射后, 遥感影像数据为土地利用变化动态监测提供了丰富的数据源 (谭少华和倪绍祥, 2006)。近 30 a 来, 国内外学者使用遥感和地理信息技术, 对不同时空的遥感影像进行解译, 发展出多种解译方法, 极大推动了陆地表层系统量化研究的广度和深度。当前, 土地利用/覆被变化采用的研究方法主要包括 3S 技术和各种模型的构建, 如 CLUE 和 CLUE-S 模型、马尔可夫链模型、系统动力模型等 (黄秋昊和蔡运龙, 2005)。Verburg et al. (2002) 提出了区域土地利用动态建模的 CLUE-S 模型, 并在菲律宾和马来西亚进行了实例验证, 确定了该模型的可行性; Foley et al. (2005) 分析了土地利用变化在生态系统、粮食生产、水资源、森林资源和气候等方面对全球环境变化造成的影响; 在国内, 史培军等 (2000) 采用马尔可夫链模型, 通过遥感影像解译和土地利用数据分析, 得出了深圳市土地利用变化的驱动因素; 刘纪远等 (2002) 分析了中国 1995—2000 年的陆地卫星数据资料, 定量研究了中国在这一时期的土地利用变化特征及空间分布规律; 徐瑞祥等 (2002) 采用系统动力模型, 对缓解人口压力、保护耕地和实现区域土地可持续利用进行了探讨。总体来看, CLUE-S 模型主要解决不同空间尺度土地利用空间分配问题, 在土地生产潜力评价及土地利用规划方面有广阔的应用前景。然而, CLUE-S 模型只考虑短期或近期土地利用变化因子, 其对社会经济因子的空间化尚存在一定问题, 这一瓶颈限制了 CLUE-S 模型的发展 (蔡玉梅等, 2004)。马尔可夫链模型是通过

对事物初始状态的不同占有率以及变化概率进行

研究, 确定事物变化发展的趋势。该模型仅适用于小空间尺度的土地利用变化, 且仅适合短期的预测 (陈平留和黄清麟, 1992)。系统动力模型在处理高度非线性、高阶次、多变量、多重反馈问题等方面具有优势。随着科学技术发展, 遥感影像的精度越来越高, 解译出的数据精度也越来越可靠, 利用遥感影像来研究土地利用/覆被变化的可信度得到明显提高。

黄土塬是黄土高原最为宝贵的宜耕、宜农、宜居的土地资源。由于其地势平坦, 易于耕作, 有着比黄土高原其他地区更为优越的生产和生活条件, 因此一直是黄土高原重要的经济、文化和行政聚集区。当前, 随着城镇化加速、交通路网扩张等一系列人类活动的影响, 黄土塬溯源侵蚀剧烈, 沟道不断扩张, 加剧了黄土塬的破碎化和分解, 严重影响到黄土塬的国土安全、民生安全和生态安全 (金钊, 2020)。洛川塬是黄土高原地区除董志塬外最大的黄土塬面, 主体位于延安市洛川县境内。相比董志塬而言, 洛川塬更加破碎化, 塬面面积更小, 因此面临的破碎化和萎缩风险更大。据调查, 洛川县朱牛乡 1978—1983 年 5 a 时间, 塬边共发生大小不同的滑塌 38 次, 损失塬面土地 0.075 km² (杨民生, 2017)。当前, 洛川县的水土流失面积接近 90%, 城镇化快速发展、交通路网扩张等现代人类活动的影响剧烈, 其中沟头前进、塬边崩塌等重力侵蚀是水土流失的主要类型。因此, 本文以洛川塬的主体洛川县为例, 对洛川县 1985 年、2000 年和 2015 年的遥感影像进行解译, 然后通过数学方法、地理信息技术和遥感技术, 得出 1985—2015 年洛川县土地利用变化的速度、转移方向和土地利用程度, 从区域尺度分析近几十年来洛川塬的土地利用变化, 理解洛川塬萎缩退化的人类活动影响及其产生的动力条件, 旨在为洛川县土地资源管理和下一步实施固沟保塬工程提供科学依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

洛川县位于陕西省延安市的南部(图1a),属于洛川塬的主体部分,东部为黄龙县与宜川县,西部为黄陵县和宜君县,南部为白水县,北部为富县。全县有1个街道、8个镇、3个便民服务中心和196个行政村,户籍总人口22.06万人(<http://www.lcx.gov.cn/zjlc/lcgk/hzqh/1.html>),总面积为1804 km²,因水土流失损失面积可达1583 km²(杨民生,

2017)。洛川县为暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均降水量为621 mm,降雨相对集中,年均流失土体总量 3.972×10^6 t,是一个典型的水土流失县(杨民生,2017)。洛川县地貌表现为塬面与沟道交错分布,沟道支离破碎且溯源侵蚀现象严重,沟头发育活跃;岩性主要为第四纪堆积的黄土岩层,总厚度120—150 m。地势由东北向西南倾斜,海拔高度650—1381 m,沟谷切深在100—200 m,主沟道比降1%,1 km以上的沟道767条,沟壑密度为 $1.2 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (孔辉和孙增慧,2018)。

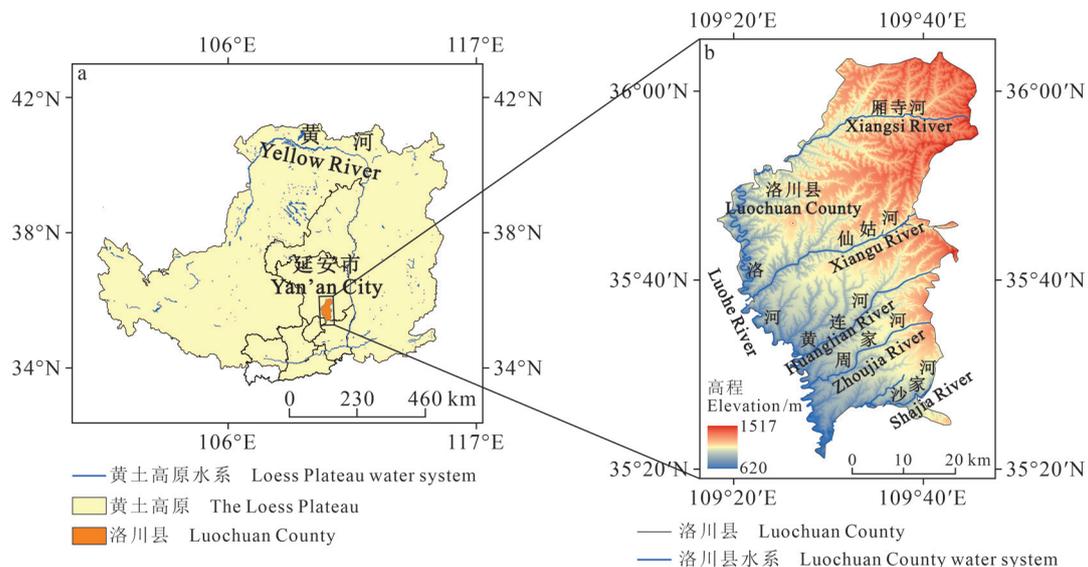


图1 洛川县区域图

Fig. 1 The location of the Luochuan County in the Loess Plateau of China

1.2 数据来源及处理方法

采用公开的Landsat系列遥感影像数据(<http://www.gscloud.cn>),分别选取了1985年(1986-08-02)、2000年(2000-06-29)、2015年(2015-07-01)共三期的遥感影像作为原始数据。1985年遥感影像的传感器类型为Landsat-5 TM,2000年和2015年影像的传感器类型为Landsat-8 OLI,其空间分辨率均为30 m。所有遥感影像数据通过ENVI 5.3软件(美国Exelis Visual Information Solutions公司)进行预处理工作,再通过ENVI 5.3软件根据最大似然法(maximum likelihood classification)对影像进行监督分类以及分类后再处理。最后通过ArcGIS 10.7软件(美国ESRI公司)结合Google Earth对结果进行人机交互解译,用来提高影像解译精度(杨思齐等,2019)。根据2017年颁布的

《GB/T 21010—2017,土地利用现状分类》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会,2017)并结合本文的研究目的,将土地利用/覆被类型分为以下6类:草地、林地、耕地、建设用地、水域及水利设施用地、未利用地,得出洛川县1985年、2000年、2015年三年的土地利用图。采用ENVI软件中的混淆矩阵分析功能对最终的解译结果进行精度分析(表1)。从表1中可以看出其整体精度可达到92%以上,其卡帕系数在0.89以上。

1.3 分析方法

1.3.1 土地利用变化速度

(1) 单一土地利用动态度

单一土地利用动态度是反映不同土地利用类型在一定时间段内的变化速度和幅度的指标,反

映人类活动对单一土地利用类型的影响。将最终的数值扩大 100 倍便于分析, 表达式 (王秀兰和包玉海, 1999) 为:

$$K=(U_a-U_b)\div U_a\times\frac{1}{T}\times 100\%\times 100 \quad (1)$$

式中: K 为某土地利用类型的动态度; T 为研究时长 (a); U_a 为研究初期某一种土地利用类型面积 (km^2); U_b 为研究末期某一种土地利用类型面积 (km^2)。

表 1 1985—2015 年洛川县遥感影像解译精度
Tab.1 Remote sensing image interpretation accuracy of the Luochuan County from 1985 to 2015

年份 Year	整体精度 Overall accuracy/%	卡帕系数 Kappa coefficient
1985	94.89	0.93
2000	92.47	0.89
2015	95.06	0.93

(2) 综合土地利用动态度

综合土地利用动态度模型表现土地利用变化速率的区域差异, 为便于分析将结果扩大 100 倍, 表达式 (陈述彭等, 1998) 为:

$$S=[\sum_{i=1}^n(\Delta S_{i-j}\div 2S_i)]\times\frac{1}{T}\times 100\%\times 100 \quad (2)$$

式中: S 为土地利用综合动态度; S_i 为研究区内第 i 类土地利用类型的初始面积 (km^2); ΔS_{i-j} 为研究区内第 i 类土地利用类型从初始到结束时转变为其他土地利用类型的面积总和 (km^2); T 为研究时长 (a)。

1.3.2 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵能够全面反映研究区内土地利用类型变化的方向及其结构特征。模型 (刘瑞和朱道林, 2010) 如下:

$$A_{ij}=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: A_{ij} 为研究始末土地利用各类型面积和 (km^2); n 为土地利用类型数。

该方法通过采用矩阵或表格的形式来表示土地利用变化的类型和其转移的面积, 为研究区域土地利用变化方向和结构构成的分析提供依据 (朱会义和李秀彬, 2003)。

1.3.3 土地利用程度

土地利用程度变化反映了多种土地利用类型

的变化, 反映人类活动对土地利用变化的影响, 其数学模型 (王秀兰和包玉海, 1999) 为:

$$L_j=100\times\sum_{i=1}^n(A_i\times C_i) \quad (4)$$

式中: L_j 为研究区土地利用程度综合指数 (土地利用程度综合指数是针对一个具体年份内所有土地利用类型整体反映的土地利用集约化程度); A_i 为研究区域内第 i 级土地利用程度分级指数; C_i 为研究区域内第 i 级土地利用程度分级面积所占百分比; n 为土地利用类型数。

土地利用程度变化量 (陈述彭等, 1998) 和土地利用程度变化率可表达为:

$$\Delta L_{b-a}=L_b-L_a=100\times[\sum_{i=1}^n(A_i\times C_{ib})-\sum_{i=1}^n(A_i\times C_{ia})] \quad (5)$$

$$R=[\sum_{i=1}^n(A_i\times C_{ib})-\sum_{i=1}^n(A_i\times C_{ia})]\div\sum_{i=1}^n(A_i\times C_i) \quad (6)$$

式中: ΔL_{b-a} 为土地利用程度变化量; R 为土地利用程度变化率; L_a 为起始时区域土地利用程度综合指数; L_b 为末期时区域土地利用程度综合指数; A_i 为研究区域内第 i 级土地利用程度分级指数; C_{ib} 为末期时研究区域内第 i 级土地利用程度分级面积百分比; C_{ia} 为初始时研究区域内第 i 级土地利用程度分级面积百分比。若 $L_{b-a}>0$ 或 $R>0$, 研究区的土地利用处于发展时期, 否则处于调整期或衰退期, 将最终结果扩大 100 倍以便于分析。 A_i 取值参考刘纪远 (1997) 提出的土地利用程度指数 (表 2)。

2 结果分析

2.1 洛川县土地利用变化速率

1985—2015 年, 洛川县主要的土地利用类型为林地、草地和耕地, 这三种主要土地利用类型面积占比达 91.29% (图 2)。由表 3 可见: 洛川县 1985—2000 年耕地和建设用地面积增加, 其中耕地面积增加最多, 共增加 107.14 km^2 , 建设用地面积增加 38.13 km^2 ; 林地、草地、未利用地、水域和水利设施用地面积减少, 其中林地减少面积最大, 共减少 116.12 km^2 。2001—2015 年, 建设用地增加 79.03 km^2 , 林地增加 41.26 km^2 , 草地增加 21.63 km^2 ; 耕地、未利用地、水域和水利设施面积分别减少 141.16 km^2 、1.10 km^2 和 0.16 km^2 。从土地利用/覆被动态度看, 1985—2015 年, 建设用地单一土地利用/覆被动态度一直为正, 而未利用地、水域和水利设施用地单一土地利用/覆被动

态度一直为负, 林地、草地和耕地正负变化不一 (表 4)。

总体而言, 1985—2015 年洛川县的建设用地面积增幅最大, 共增加了 117.16 km², 年均增加 5.11%。林草地呈现先减少后增加的趋势, 而耕地相反, 呈现先增加后减少的趋势。1985—

2015 年, 林地面积共减少了 74.87 km², 年均减少 0.44%; 耕地共减少了 34.02 km², 年均减少 0.23%; 草地共减少 5.64 km², 年均减少 0.03%; 未利用地共减少 2.02 km², 年均减少 1.43%; 水域及水利设施用地共减少 0.28 km², 年均减少 0.46%。

表 2 土地利用程度指数表
Tab. 2 Index of land use intensity

生态系统类型 Ecosystem type	土地利用类型 Land use type	分级指数 Classification degree
未利用土地级 Class of abandoned land	未利用地或难用地 Abandoned land	1
林、草、水用地级 Class of woodland, grassland, water bodies	林地、草地、水域及水利设施用地 Woodland, grassland, land for water area and water conservancy facilities	2
农业用地级 Class of farmland	耕地、园地、人工草地 Farmland, gardens, planted grassland	3
城镇聚落用建设用地级 Class of land for construction	城镇、居民点、工矿用地、交通用地 Urban, residential, industrial, traffic land	4

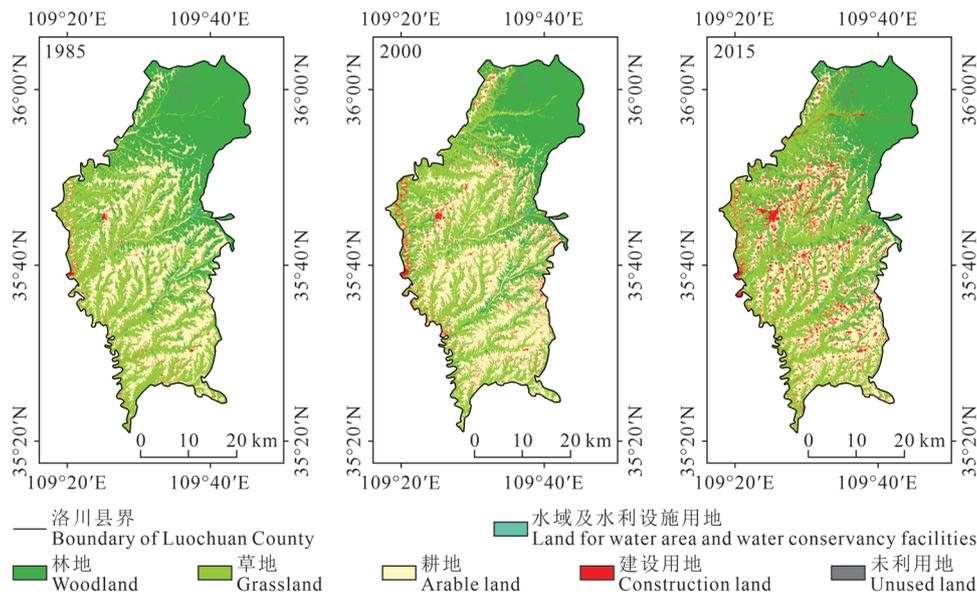


图 2 洛川县 1985—2015 年土地利用变化图
Fig. 2 Maps of land use change in the Luochuan County during 1985—2015

表 3 1985—2015 年洛川县各种土地利用类型面积变化
Tab. 3 Area and percentage of different types of land use change in the Luochuan County during 1985—2015

土地利用类型 Types of land use	各土地利用 / 覆被类型增减变化 Area change of different land use types / km ²			面积百分比 Area percentage / %		
	1985—2000	2001—2015	1985—2015	1985	2000	2015
林地 Woodland	-116.12	41.26	-74.87	34.14	27.63	29.94
草地 Grassland	-27.27	21.63	-5.64	34.85	33.30	34.51
耕地 Arable land	107.14	-141.16	-34.03	28.68	34.66	26.77
建设用地 Construction land	38.13	79.03	117.16	1.89	4.02	8.43
水域及水利设施 Land for water area and water conservancy facilities	-0.12	-0.16	-0.28	0.12	0.11	0.11
未利用地 Unused land	-0.92	-1.10	-2.02	0.32	0.27	0.21

表 4 1985—2015 年洛川县单一土地利用动态度
Tab. 4 The rate of land use change in the Luochuan County during 1985—2015

土地利用类型 Types of land use	面积 Area/km ²			面积百分比 Area percentage/%		
	1985	2000	2015	1985—2000	2001—2015	1985—2015
林地 Woodland	610.59	494.46	535.72	-1.40	0.50	-0.40
草地 Grassland	623.31	596.03	617.67	-0.30	0.20	0.00
耕地 Arable land	513.09	620.23	479.07	1.50	-1.40	-0.20
建设用地 Construction land	33.80	71.93	150.95	8.10	6.90	11.60
水域及水利设施 Land for water area and water conservancy facilities	2.18	2.06	1.90	-0.40	-0.50	-0.40
未利用地 Unused land	5.73	4.81	3.71	-1.10	-1.40	-1.20

2.2 洛川县土地利用 / 覆被变化方向

1985—2000 年, 洛川县全县 74.57% 的土地利用 / 覆被面积未发生改变, 发生的主要变化是林地、草地、耕地、建设用地之间的转换 (图 3)。1985—2000 年, 共有 188.34 km² 的草地转换为其他土地利用类型, 转出大于转入, 其中 8.42% 的草地转换为林地, 占新增林地的 91.25% (表 5); 耕地的转入面积最大, 为 176.73 km², 转入大于转出, 其中 18.81% 的草地转换为耕地, 占新增耕地面积的 66.33%, 林地也有部分转换为耕地, 占新增耕地面积的 26.72% (表 5); 6.44% 的耕地转换为建设用地, 占新增建设用地面积的 59.07%; 林地的转出面积为 173.47 km², 转出大于转入, 其中 19.44% 的林地转换为草地, 占新增草地的 73.76%。7.74% 的林地转换为耕地, 占新增耕地的 26.72%。

2001—2015 年, 洛川县全县 69.10% 的土地利用 / 覆被面积未发生改变 (表 6)。其间, 共有 204.92 km² 的耕地转换为其他土地利用类型, 转出大于转入, 其中 13.07% 的耕地转换为建设用地, 占新增建设用地的 67.91%, 12.07% 的耕地转换为草地, 占新增草地面积的 36.84%, 同时有 7.90% 的耕地转换为林地, 占新增林地面积的 30.02%; 此外, 有 181.59 km² 的草地转出, 在草地转出面积中: 58.80% 的草地转换为林地, 占新增林地面积的 91.40%; 22.48% 转换为耕地, 占新增耕地面积的 63.85%; 18.64% 转换为建设用地, 占新增建设用地的 28.37%。林地转出面积中, 有 93.67% 转换为草地, 占新增草地的 56.21%。

2.3 洛川县土地利用 / 覆被程度

洛川县 30 a 来土地利用 / 覆被水平呈现持续增

长的趋势 (表 7), 前 15 a (1985—2000 年) 增长迅速, 其土地利用 / 覆被程度变化率为 0.44 (表 8), 表明 2000 年的土地利用程度相较于 1985 年更加活跃; $R_{(2001-2015)} > 0$, 其土地利用 / 覆被程度变化率为 0.04 (表 8), 表明 2015 年的土地利用程度相较于 2000 年有所增强, 但没有 1985—2000 年活跃。计算得到 1985—2000 年洛川县的综合土地利用动态度为 0.1571, 2001—2015 年为 0.1573。和前 15 a (1985—2000 年) 相比, 后 15 a (2001—2015 年) 综合土地利用动态度有所增长, 表明人类活动对土地利用综合开发利用水平起到积极的影响。

3 讨论

3.1 洛川县土地利用变化及驱动力分析

洛川县地处黄土塬区, 地形主要由塬面、沟坡和沟谷三部分组成。塬面开阔平坦, 较为完整, 土地利用类型多为耕地、建设用地等; 沟坡作为连接塬面和沟谷的缓长坡面, 过去多为梯田, 退耕还林还草工程实施后多退耕为林草地; 沟沿线以下多为陡峭的沟谷, 侵蚀十分剧烈。从不同时期洛川县土地利用 / 覆被变化来看, 草地面积从 1985—2000 年减少约 4.48%, 到 2015 年其面积恢复至 30 a 前的水平, 这与 1999 年黄土高原启动实施退耕还林还草工程密切相关。1985—2015 年洛川县耕地面积先增后减, 2000 年前耕地面积增加 107.14 km², 这与 1985—1990 年农村开始推行生产承包责任制、大部分草地和林地被开垦成耕地相关 (董祚继, 2007; 程磊等, 2009; 王李婧等, 2017)。2000 年后, 地方经济发展加速, 城镇化建设加快, 大量的耕地转为建设用地,

1985—2015 年建设用地面积共增加 117.16 km²。朱会义和吕昌河 (2010) 通过对延安市近 30 a 的耕地变化研究发现, 退耕还林还草工程实施的前 10 a, 延安市全市耕地减少约 47 km²。洛川县建设用地自 1985 年开始, 至 2015 年持续增长, 年平均增长约 5.11%, 主要由耕地转入。邱海军和曹明明

(2011) 通过对洛川县 2000—2006 年土地利用变化分析得出, 洛川县建设用地占用耕地情况严重, 大量耕地被侵占为建设用地。郝俊卿等 (2003) 研究发现, 自 1978 年改革开放以来, 洛川县经济发展相对较快, 这也是洛川县建设用地面积快速增长的一个重要原因。

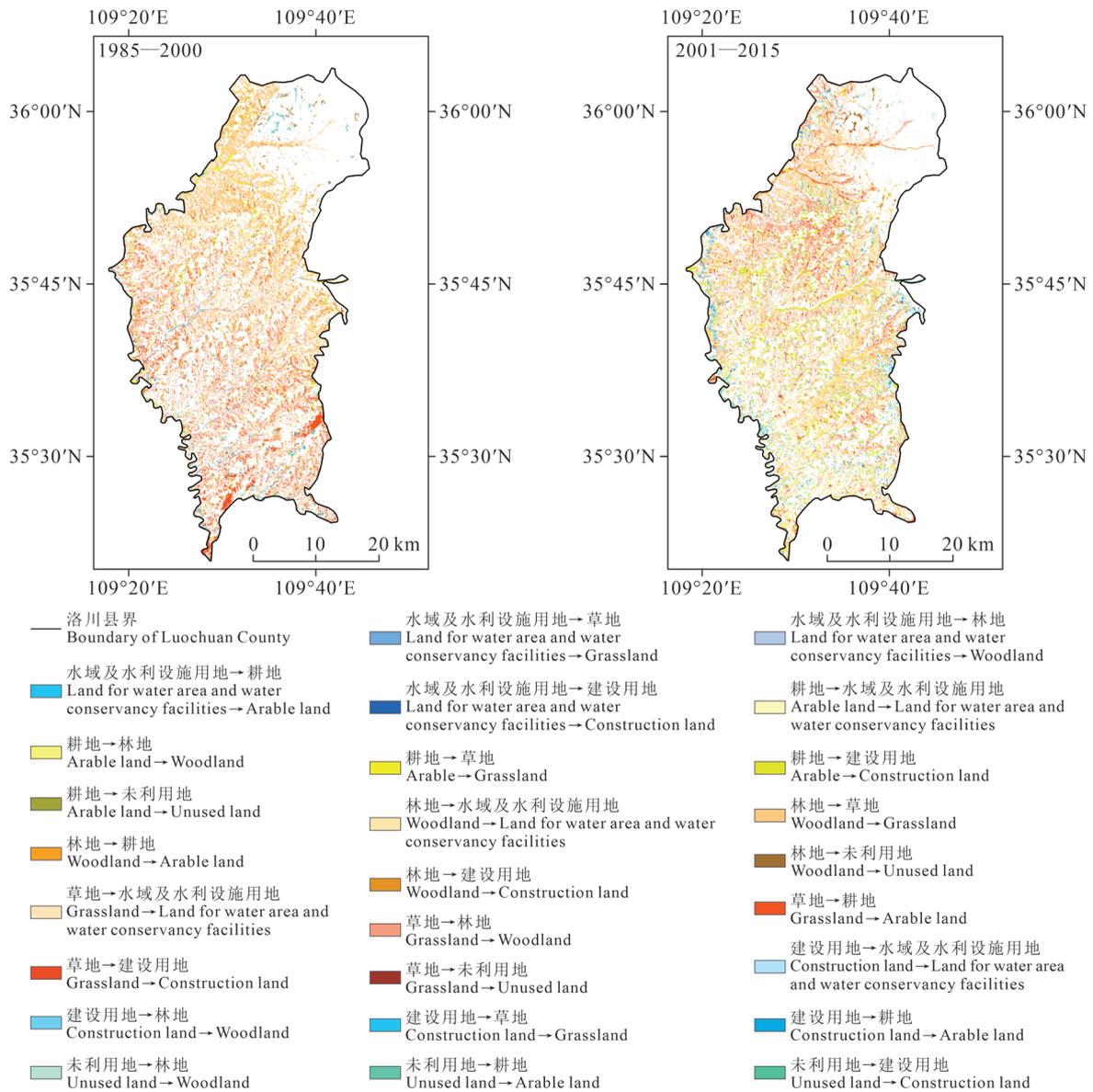


图 3 洛川县 1985—2015 年土地利用变化分布图
Fig. 3 Land use/land cover change in the Luochuan County during 1985—2015

3.2 洛川县土地利用 / 覆被变化对沟道侵蚀的影响

塬面城镇化加速形成的硬化地面 (不透水层或弱透水层) 对黄土塬的水土流失和沟道侵蚀扩张起到重要的促进作用 (姚文波, 2007)。硬化地面

分为道路、城镇街区和农家场院三大类, 这三种硬化路面在黄土塬广泛分布, 并且很多靠近侵蚀沟的沟头, 其中城镇建设和修建道路后形成的汇水对沟道侵蚀扩张的影响巨大。如杨思齐等 (2020)

研究发现：董志塬庆阳城区面积的不断扩大与火巷沟沟岸的扩张呈显著正相关关系；1964—2002年城市化较慢时期，火巷沟沟岸每年扩张约 1 m；2003—2017年城市化快速发展时期，火巷沟沟岸最快以每年 8.0 m 的速度向外扩张（2009—2014年）；刘窑军等（2014）将降雨实验与模拟冲刷实验结合，研究了路面汇水的介入对路堤边坡侵蚀的影响，结果表明路面汇水的介入对路堤旁边坡侵蚀有显著的促进作用。上述研究结果表明，随着城市化面积的不断扩大和交通路网的不断扩张，加速了塬面的水土流失和沟道的侵蚀。张建军等（2004）通过野外实地放水冲刷试验，以地表径

流含沙量为指标研究了不同植被条件下晋西黄土区土壤的抗冲性，研究得出不同植被条件下土壤的抗冲性为：油松林地>刺槐林地>草地>道路边坡>农地。根据本文研究，1985—2015年人类活动对洛川县土地利用/覆被变化的影响主要体现在林地、草地、耕地和建设用地的相互转换上，且人类活动对土地利用类型转换有重要的促进作用，进而影响了黄土塬区的水土流失与沟道侵蚀。因此，科学合理布局城镇和交通路网的建设规模，进行合理的林地草地保护和土地利用类型转换，对于抑制洛川塬沟道的侵蚀扩张和保护塬面的完整性和生态安全至关重要。

表 5 1985—2000 年洛川县土地利用类型转移矩阵
Tab. 5 Transfer matrix of different land use types in the Luochuan County during 1985—2000

土地利用类型 Land use type	林地 Woodland /km ²	草地 Grassland /km ²	耕地 Arable land /km ²	建设用地 Construction land/km ²	水域及水利 设施用地 Land for water area and water conservancy facilities/km ²	未利用地 Unused land/km ²	流域 Basin /km ²	转出面积 Transfer out area/km ²	转出贡献率 Transfer out contribution rate/%
林地 Woodland/km ²	437.02	118.66	47.23	4.37	0.02	3.20	610.49	173.47	38.14
草地 Grassland/km ²	52.43	434.76	117.23	18.40	0.07	0.20	623.09	188.34	41.41
耕地 Arable land/km ²	0.69	35.52	443.56	33.06	0.02	0.21	513.07	69.51	15.28
建设用地 Construction land/km ²	0.19	6.15	11.87	15.55	0.01	0.00	33.76	18.21	4.00
水域及水利 设施用地 Land for water area and water conservancy facilities/km ²	0.33	0.04	0.19	0.13	1.69	0.04	2.43	0.74	0.16
未利用地 Unused land/km ²	3.81	0.51	0.21	0.00	0.00	1.20	5.73	4.54	1.00
流域合计 Basin total/km ²	494.48	595.64	620.29	71.51	1.81	4.85	1788.58	454.81	
转入面积 Transfer in area/km ²	57.46	160.88	176.73	55.97	0.12	3.65	454.81		
转入贡献 Transfer in contribution rate/%	12.63	35.37	38.86	12.31	0.03	0.80			

表 6 2001—2015 年洛川县土地利用类型转移矩阵
Tab. 6 Transfer matrix of different land use types in the Luochuan County during 2001—2015

土地利用类型 Land use type	林地 Woodland /km ²	草地 Grassland /km ²	耕地 Arable land /km ²	建设用地 Construction land/km ²	水域及水利 设施用地 Land for water area and water conservancy facilities/km ²	未利用地 Unused land/km ²	流域 Basin /km ²	转出面积 Transfer out area/km ²	转出贡献率 Transfer out contribution rate/%
林地 Woodland/km ²	372.45	114.24	1.02	4.13	0.02	2.55	494.40	121.96	22.07
草地 Grassland/km ²	106.76	414.25	40.82	33.84	0.10	0.06	595.83	181.59	32.85
耕地 Arable land/km ²	48.98	74.86	415.07	81.01	0.02	0.04	619.99	204.92	37.08
建设用地 Construction land/km ²	4.77	13.21	21.96	31.63	0.30	0.00	71.87	40.24	7.28
水域及水利 设施用地 Land for water area and water conservancy facilities/km ²	0.05	0.07	0.02	0.10	1.47	0.00	1.70	0.23	0.04
未利用地 Unused land/km ²	2.58	0.84	0.13	0.21	0.00	1.05	4.81	3.76	0.68
流域合计 Basin total/km ²	535.59	617.46	479.02	150.91	1.90	3.71	1788.60	552.69	
转入面积 Transfer in area/km ²	163.15	203.22	63.95	119.29	0.43	2.66	552.69		
转入贡献 Transfer in contribution rate/%	29.52	36.77	11.57	21.58	0.08	0.48			

表 7 洛川县 1985—2015 年土地利用程度综合指数变化
Tab. 7 The degree of land use change in the Luochuan County
during 1985—2015

年份 Particular year	土地利用程度综合指数 L_j Comprehensive index of land use degree L_j
1985	232.14
2000	242.41
2015	243.37

表 8 洛川县 1985—2015 年土地利用变化率
Tab. 8 The rate of land use change in the Luochuan County
during 1985—2015

年份 Particular year	土地利用程度变化率 R Land use change rate R
1985—2000	0.44
2001—2015	0.04
1985—2015	0.04

4 结论

通过对洛川县 1985—2015 年三期遥感影像进行处理, 对洛川县的土地利用变化速度、转移方向和土地利用程度进行了系统分析, 得出以下主要结论:

(1) 1985—2015 年, 洛川县的建设用地增幅最大, 共增加了 117.16 km², 年均增加 5.11%。林地、耕地、草地、未利用地、水域及水利设施用地都呈减少趋势, 其中林草地呈现先减少后增加的趋势, 而耕地呈现出先增加后减少的趋势。

(2) 1985—2015 年, 人类活动对洛川县土地利用变化的影响主要体现在林地、草地、耕地、建设用地间的相互转换上。前 15 a (1985—2000 年) 主要表现为草地、林地面积的减少和耕地面积的增加, 建设用地在这一期间呈现增加的趋势; 后 15 a (2001—2015 年) 主要表现为林草地面积的增加和耕地面积的减少, 其中耕地减少主要是因为耕地转出为草地、林地和建设用地。

(3) 1985—2000 年洛川县的综合土地利用动态度为 0.1571, 2001—2015 年为 0.1573。1985—2000 年人类活动对土地利用的影响主要为耕地和建设用地面积的增加; 而 2001—2015 年林草地的增加主要是因为退耕还林还草工程的启动实施, 这表明人类活动对土地利用综合开发利用水平起到积极的影响。

参考文献

- 蔡玉梅, 刘彦随, 宇振荣, 等. 2004. 土地利用变化空间模拟的进展——CLUE-S 模型及其应用 [J]. *地理科学进展*, 23(4): 63–71, 115. [Cai Y M, Liu Y S, Yu Z R, et al. 2004. Progress in spatial simulation of land use change—CLUE-S model and its application [J]. *Progress in Geography*, 23(4): 63–71, 115.]
- 陈平留, 黄清麟. 1992. 应用马尔可夫链分析预测福建以林为主的土地利用趋势 [J]. *自然资源学报*, 7(1): 36–42. [Chen P L, Huang Q L. 1992. Analysis of land use situation and forecast of its development tendency in Fujian Province by Markov chain [J]. *Journal of Natural Resources*, 7(1): 36–42.]
- 陈述彭, 童庆禧, 郭华东, 等. 1998. 遥感信息机理研究 [M]. 北京: 科学出版社: 346–368. [Chen S P, Tong Q X, Guo H D. 1998. Mechanism of remote sensing information [M]. Beijing: Science Press: 346–368.]
- 程磊, 徐宗学, 罗睿, 等. 2009. 渭河流域 1980—2000 年 LUCC 时空变化特征及其驱动力分析 [J]. *水土保持研究*, 16(5): 1–6, 30, 287. [Cheng L, Xu Z X, Luo R, et al. 2009. Spatial-temporal characteristics of LUCC and driving factor analysis for the Wei River Basin from 1980 to 2000 [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 16(5): 1–6, 30, 287.]
- 董祚继. 2007. 中国现代土地利用规划研究 [D]. 南京: 南京农业大学. [Dong Z J. 2007. Study on modern land use planning in China [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University.]
- 郝俊卿, 吴成基, 王雁林. 2003. 50 年来延安市县域经济差异发展变化探讨 [J]. *干旱区资源与环境*, 17(3): 60–64. [Hao J Q, Wu C J, Wang Y L. 2003. Discussion on Yan'an's regional economic disparities and changing characters during recent 50 years [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 17(3): 60–64.]
- 黄秋昊, 蔡运龙. 2005. 国内几种土地利用变化模型述评 [J]. *中国土地科学*, 19(5): 25–30. [Huang Q H, Cai Y L. 2005. Review on several domestic land use change models [J]. *China Land Science*, 19(5): 25–30.]
- 金钊. 2020. 黄土塬——千沟万壑之中的平坦之地 [J]. *地球环境学报*, 11(1): 119–124. [Jin Z. 2020. Loess tableland—a flat land among thousands of valleys and valleys [J]. *Journal of Earth Environment*, 11(1): 119–124.]
- 孔辉, 孙增慧. 2018. 基于 ArcGIS 的洛川县农用地分等结果分析 [J]. *乡村科技*, (27): 110–111. [Kong H, Sun Z H. 2018. Analysis of agricultural land classification results in Luochuan County based on ArcGIS [J]. *Xiangcun Keji*, (27): 110–111.]
- 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 2002. 中国近期土地利用变化的空间格局分析 [J]. *中国科学 (D 辑: 地球科学)*, 32(12): 1031–1040, 1058. [Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, et al. 2002. Spatial pattern analysis of recent land use change in China [J]. *Science in China (Series D)*, 32(12): 1031–1040, 1058.]
- 刘纪远. 1997. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究 [J]. *遥感学报*, 1(3): 225–230. [Liu J Y. 1997. Study on national resources & environment survey and dynamic monitoring using remote sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1(3): 225–230.]
- 刘瑞, 朱道林. 2010. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨 [J]. *资源科学*, 32(8): 1544–1550. [Liu R, Zhu D L. 2010. Methods for detecting land use changes based on the land use transition matrix [J]. *Resources Science*, 32(8): 1544–1550.]
- 刘窑军, 王天巍, 蔡崇法, 等. 2014. 植被措施与路面汇水对三峡库区土质道路边坡侵蚀影响 [J]. *水科学进展*, 25(1): 98–105. [Liu Y J, Wang T W, Cai C F, et al. 2014. Impacts of vegetation and pavement runoff concentration on rural roadside slope erosions in Three Gorge Reservoir area [J]. *Advances in Water Science*, 25(1): 98–105.]
- 邱海军, 曹明明. 2011. 黄土高原沟壑区土地利用变化分析——以陕西省洛川县为例 [J]. *水土保持通报*, 31(2):

- 207–210, 251. [Qiu H J, Cao M M. 2011. Land-use change in gully region of Loess Plateau—a case study of Luochuan County, Shaanxi Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 31(2): 207–210, 251.]
- 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 2000. 深圳市土地利用变化机制分析 [J]. *地理学报*, 55(2): 151–160. [Shi P J, Chen J, Pan Y Z. 2000. Landuse change mechanism in Shenzhen City [J]. *Acta Geographica Sinica*, 55(2): 151–160.]
- 苏明伟, 张伟峰, 杜鹏, 等. 2021. 2010—2018年陕西省LUCC动态变化分析 [J]. *湖北农业科学*, 60(5): 29–34. [Su M W, Zhang W F, Du J, et al. 2021. Analysis on the dynamic changes of LUCC in Shaanxi Province from 2010 to 2018 [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 60(5): 29–34.]
- 谭少华, 倪绍祥. 2006. 20世纪以来土地利用研究综述 [J]. *地域研究与开发*, 25(5): 84–89. [Tan S H, Ni S X. 2006. Progress in the research on land use since 20th century [J]. *Areal Research and Development*, 25(5): 84–89.]
- 王李婧, 邱临静, 吴一平, 等. 2017. 渭河流域1980—2010年土地利用变化的时空异质性研究 [J]. *第四纪研究*, 37(6): 1193–1203. [Wang L J, Qiu L J, Wu Y P, et al. 2017. Spatial-temporal heterogeneity of land use changes in the Wei River Basin during 1980 and 2010 A.D. [J]. *Quaternary Sciences*, 37(6): 1193–1203.]
- 王秀兰, 包玉海. 1999. 土地利用动态变化研究方法探讨 [J]. *地理科学进展*, 18(1): 81–87. [Wang X L, Bao Y H. 1999. Study on the methods of land use dynamic change research [J]. *Progress in Geography*, 18(1): 81–87.]
- 徐瑞祥, 张永勤, 丁建中, 等. 2002. 区域耕地总量动态平衡模型研究——以温州市为例 [J]. *经济地理*, 22(4): 435–439. [Xu R X, Zhang Y Q, Ding J Z, et al. 2002. Research on model for regional total dynamic balance of cultivated land—a case study in Wenzhou City [J]. *Economic Geography*, 22(4): 435–439.]
- 杨民生. 2017. 洛川黄土高原沟壑区固沟保塬综合治理调查与思考 [J]. *陕西水利*, (4): 183–184. [Yang M S. 2017. Investigation and thinking on comprehensive management of gully region in Luochuan Loess Plateau [J]. *Shaanxi Water Resources*, (4): 183–184.]
- 杨思齐, 金钊, 罗达, 等. 2020. 城市扩张对董志塬沟道侵蚀演化的影响 [J]. *第四纪研究*, 40(5): 1359–1370. [Yang S Q, Jin Z, Luo D, et al. 2020. Effects of urban expansion on gully landform evolution in the Dongzhi tableland of Chinese Loess Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 40(5): 1359–1370.]
- 杨思齐, 金钊, 余云龙, 等. 2019. 1975—2015年董志塬土地利用/覆被变化及人类活动影响 [J]. *第四纪研究*, 39(6): 1433–1442. [Yang S Q, Jin Z, Yu Y L, et al. 2019. Analysis of the spatial-temporal characteristics of LUCC from 1975 to 2015 on the Dongzhi loess tableland [J]. *Quaternary Sciences*, 39(6): 1433–1442.]
- 姚文波. 2007. 硬化地面与黄土高原水土流失 [J]. *地理研究*, 26(6): 1097–1108. [Yao W B. 2007. The harden ground and soil and water loss on the Loess Plateau [J]. *Geographical Research*, 26(6): 1097–1108.]
- 张建军, 张宝颖, 毕华兴, 等. 2004. 黄土区不同植被条件下的土壤抗冲性 [J]. *北京林业大学学报*, 26(6): 25–29. [Zhang J J, Zhang B Y, Bi H X, et al. 2004. Soil erosion resistance of different land types in Loess Plateau area [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 26(6): 25–29.]
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2017. GB/T 21010—2017, 土地利用现状分类 [S]. 北京: 中国标准出版社. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2017. GB/T 21010—2017, current land use classification [S]. Beijing: Standards Press of China.]
- 朱会义, 李秀彬. 2003. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论 [J]. *地理学报*, 58(5): 643–650. [Zhu H Y, Li X B. 2003. Discussion on the index method of regional land use change [J]. *Acta Geographica Sinica*, 58(5): 643–650.]
- 朱会义, 吕昌河. 2010. 近30年延安市耕地变化的政策背景及其作用机理 [J]. *地理研究*, 29(8): 1510–1518. [Zhu H Y, Lu C H. 2010. Farmland change in Yan'an: the impact and acting mechanism of policies [J]. *Geographical Research*, 29(8): 1510–1518.]
- Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. 2005. Global consequences of land use [J]. *Science*, 309(5734): 570–574.
- Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, et al. 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model [J]. *Environmental Management*, 30(3): 391–405.