朱凯,刘娜,夏露,等.2000-2018年吕梁市土地利用结构变化及其驱动力分析[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(6):25-35.
Zhu K, Liu N, Xia L, et al. Analysis of land use structure changes and driving forces in Lvliang city from 2000 to 2018[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(6):25-35.
**doi**: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202404061

# 2000-2018年吕梁市土地利用结构变化及其驱动力分析

朱凯[1],刘娜[1,2],夏露[1],李帅[1],吕春娟[1],刘奋武[1]

(1.山西农业大学 资源环境学院,山西 晋中 030801;2.中国地质大学(武汉)资源学院,湖北 武汉 430074)

**摘　要**:[目的]提高土地利用效率,进行土地利用结构变化及其驱动力分析研究,有利于实现吕梁市土地资源的合理分配利用。[方法]本研究选取山西省吕梁市为研究对象,基于Landsat 8遥感影像,利用信息熵($H$)、均衡度($J$)、优势度($I$)、动态度($K$)等土地利用指标以及土地利用类型转换矩阵,分析该地区自2000年至2018年的土地利用结构变化。[结果](1)2000－2010、2010－2018以及2000－2018年间,吕梁市土地利用类型以耕地、林地和草地等农业用地为主,其它类型土地面积较小,但耕地和林地面积逐渐减小,建设用地和未利用地面积不断增加,其中以建设用地面积增幅最大;(2)吕梁市土地利用$H$和$J$均呈"快速增长－稳步增长"的发展态势,而$I$则"持续降低",表明2000－2018年间吕梁市土地利用结构变化较大,土地利用结构趋于均衡;(3)吕梁市近20 a间有487.06 km$^2$耕地和413.98 km$^2$林地等农业用地转变为其它用地类型,其中以向建设用地转变为主,另有0.23 km$^2$农业用地转变为未利用地;(4)人口增长、经济发展、政府规划以及城镇化驱动均对吕梁市土地利用结构调整产生了巨大影响。[结论]应加大土地开垦以及退耕还林还草力度,同时提高农、林业投入力度(人力、物力、财力等),以增加耕地和林地面积。

**关键词**:土地利用; 信息熵; 均衡度; 优势度; 驱动力
**中图分类号**:S281;S29　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)06-0025-11

土地是集气候、地貌、岩石、土壤、植被、水文、基础地质以及人类活动于一体的自然经济综合体,具有面积有限性与用途多样性双重特点。不合理的开发利用会造成水土流失、土地沙化与荒漠化等严重的生态问题;同时,土地用途又具有多样性特点,主要有耕地、林地、草地、工矿用地以及城市建设用地等[1]。合理的土地利用结构既能够提高土地利用效率,还能有效保护土地资源,促使其朝着高效、有序、可持续方向发展。随着社会经济的高速发展与产业结构的不断调整,人们对工矿、城建等建设用地的需求量激增,导致大量农业用地被调整为建设用地,土地利用结构发生巨大变化[2-3],在大量追求社会与经济效益的同时,却忽视了环境生态效益的良性发展。

土地资源是一种很稀缺的自然资源,其利用结构的调整表现出显著的地域性差异,对一个地区土地利用特征及土地利用结构调整的分析是制定当地土地利用政策的重要依据[4-5]。土地利用结构表征了特定区域内各种土地利用类型的组成和分布情况,反映了一个地区的经济结构、人口密度、环境保护状况以及社会发展状况等特征[6]。目前,我国对土地利用结构的调整总体呈现耕地面积减少、工矿用地与建筑用地面积增加的趋势,而这一用地模式会对土地资源造成巨大的浪费与破坏,并激化人与土地间的供需矛盾,引发一系列的生态环境问题。随着我国社会经济的快速发展,土地利用结构的调整加快,多种土地类型面积减少,尤其是耕地、林地、草地等农业用地,这不仅加剧了农业发展与经济建设的用地矛盾,还因经济发展造成了严重的土地浪费和环境污染。此外,

**收稿日期**:2024-04-22　　**修回日期**:2024-05-29
**基金项目**:山西省基础研究计划(自由探索类)项目(20210302124229);山西省高等学校科技创新项目(2021L156);山西农业大学科技创新基金项目(2020BQ70);山西省博士毕业生、博士后研究人员来晋工作奖励资金科研项目(SXBYKY2021013);山西农业大学省部共建有机旱作农业国家重点实验室自主研发项目(202001-9)
**作者简介**:朱凯(ORCID:0000-0002-6392-9816),讲师,博士,研究方向:土地资源管理与利用,E-mail:zhukai-1989@163.com

区域土地结构调整也与人口、环境和社会经济发展密切相关。因此,揭示土地利用结构变化规律是探究土地优化配置、缓解用地矛盾的关键,对于区域土地的合理利用具有重大的实践意义[2]。

近年来,我国学者对土地利用结构变化及其驱动因素进行了深入调查和研究。比如,基于遥感与GIS的海南省海口市土地利用结构动态变化研究结果表明,海口市土地结构变化的主导因素是城镇面积扩大,而城市化加快以及农村用地需求量增加也加快了海口市土地利用结构的调整[7]。另外,有研究报道了浙江省临安市土地利用变化特征、动态度以及不同土地利用类型的转移规律,并从自然、社会经济和制度等方面对其土地利用结构调整的驱动力进行深入分析,结果表明,临安市土地利用结构表现为耕地面积锐减,建设用地面积大幅增加,而林地和水域面积变化较小[8]。在合肥市土地利用结构变化中,农用地向建设用地转化是其土地利用类型转变的主要形式,而人口、经济、政策、交通等是影响其土地面积变化以及土地利用格局演变的主要驱动力[9]。有研究发现,山东省潍坊市国民生产总值、产业与人口结构均与其土地利用结构信息熵显著相关($P<0.05$),经济发展水平、产业结构变化以及人口结构的优化都会对土地利用结构产生显著影响[2]。与此相似,自然、人口、经济、产业结构以及政策等多因素共同驱动了湖北省武汉市土地利用结构的调整,而城镇化水平、国内生产总值、社会固定资产投资总额以及农村居民的年人均纯收入又是其中最主要的驱动因子[10]。可见,在土地利用结构变化中,耕地面积普遍降低,其驱动因素主要集中在自然、人口、经济、政策、交通等方面。

当前,随着我国环保力度的加大以及天然气、风能、电能等新能源的大力发展,煤炭、石油的生产量和需求量减少,而山西作为重要的产煤大省,能源结构的调整必然会对其煤炭开采等工矿用地面积产生重大影响[11]。同时,山西又是我国重要的产粮大省,工矿用地面积的调整也必然会对其农业生产用地结构产生重要影响,使其整体表现为农业用地面积减少,逐渐转变为更利于经济发展的各种城镇建设用地[12-13]。吕梁市作为山西中西部地区的重要代表,其土地利用格局必然会随着人口数量的增加以及城镇化速度的加快发生显著变化,土地利用类型发生转变。本研究以山西省吕梁市土地利用结构为研究对象,借助Landsat遥感技术获取该地区自2000年至2018年的土地利用遥感数据,定量评估其近20 a间的土地利用类型面积变化,借助土地利用信息熵、均衡度、优势度及动态度等相关指标,分析该地区土地利用结构调整的动态特征及其驱动力变化,旨在为吕梁市土地利用结构优化与土地资源合理分配提供理论依据。

## 1 研究区与试验方法

### 1.1 研究区概况

吕梁市位于山西省中西部,北纬36°43′~38°43′,东经110°22′~112°19′,东邻太原市与晋中市,西隔黄河与陕西省相望,南、北分别与临汾市和忻州市接壤,总面积21 000 km$^2$,其中土壤面积19 000 km$^2$,主要有棕土型、褐土型、栗褐土型、山地草甸土型、潮土型、黄绵土型等多种土壤类型。地势中间高两边低,海拔1000~2000 m,年降水量为472 mm,降水季节分配不均匀,年平均气温在9 ℃左右,境内沟壑纵横、山峰起伏。全市属于温带大陆性季风气候,四季分明,雨热同期,阳光充足[14]。

截止2022年,吕梁市近5 a间的社会生产总值呈上升趋势,一、二、三次产业比例为4.5∶69.6∶25.9。其中,第一产业为肉牛、红枣、大豆、马铃薯等特色粮食产业,增加产值107.82亿元,同比增长6.1%;第二产业为高效清洁能源产业,提倡绿色低碳模式,并支持汾酒发展,增加产值1 684.26亿元,同比增长3.7%;第三产业主要为酒文旅行业,全面推进“酒+”融合发展战略,推动酒和文化旅游的产业形式融合,增加产值626.82亿元,同比增长3.9%[15]。

### 1.2 研究方法

本文以山西省吕梁市土地利用结构为研究对象,分析其2000-2018年间各土地利用类型的面积变化。同时,计算其土地利用信息熵、均衡度、优势度与动态度等指标,绘制土地利用类型转换矩阵,定量分析吕梁市近20 a间土地利用结构变化动态特征以及土地利用类型转移规律,并从人口、经济、政府规划与城镇化驱动等多个角度定性分析该地区土地利用结构变化的主要驱动力。相关

指标计算方法介绍如下:

1.2.1　信息熵

信息熵可衡量一个系统的复杂和均衡程度,信息熵值越大,土地利用类型越多,各类型间的差值越小,土地利用越均衡,其所属系统的有序度越低[3,16]。对一个区域,假定其总面积为$A$,土地利用类型分为$N$种,每种土地利用类型的面积为$A_i$($i$=1,2,...,$N$),则

$$\sum_{i=1}^{N} A_i = A \tag{1}$$

各土地类型面积百分比为:

$$P_i = A_i / A \tag{2}$$

式中,$P_i$为第$i$种土地利用类型占区域土地总面积的百分比。

则土地利用信息熵可计算如下[3,16]:

$$H = -\sum_{i=1}^{N} (P_i \ln P_i) \tag{3}$$

某一区域土地利用信息熵值愈大,该区域土地利用类型越多,各土地类型间面积差值越小,土地利用越均衡[3]。

1.2.2　均衡度和优势度

通过信息熵可引入土地利用均衡度($J$)[3,16],计算公式如下:

$$J = H / H_{\max} = -\sum_{i=1}^{N} (P_i \ln P_i) / \ln N \tag{4}$$

式中,$J$为土地利用均衡度,其变化区间为[0,1],当$J$=0时,土地利用结构处于最不平衡状态;而当$J$=1时,土地利用结构达到理想的平衡状态[3]。

同理,引入土地利用优势度($I$),其反映了区域内1种或几种土地利用类型支配该区域土地利用结构的程度[3,16],与均衡度意义相反,计算公式为:

$$I = 1 - J \tag{5}$$

1.2.3　单一土地利用类型动态度

某研究区内一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化用该土地利用类型动态度($K$)表示,其计算公式[14]如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \tag{6}$$

式中,$K$为单一土地利用类型动态度,$U_a$和$U_b$分别为研究初期和末期某一土地利用类型的面积($hm^2$),$T$为研究时段长。

1.2.4　土地利用类型转换矩阵

土地利用类型转移矩阵是将各类土地利用变化的转移面积按矩阵的形式排列,用以分析土地利用结构变化以及方向变化[17],它可以定量表征不同土地利用类型之间的转换关系,公式如下:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{7}$$

式中,$S$为面积($hm^2$),$i$、$j$分别为研究初期和末期的土地利用类型,$n$为土地利用的类型数。

### 1.3　数据来源

本研究从一级类土地利用结构角度出发,将研究区土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6类。本研究土地利用TM、ETM等Landsat 8卫星遥感数据于中国地理空间数据云网站(http://www.gscloud.cn/)下载,主要包括2000年、2010年、2018年3期空间分辨率为30 m的遥感影像图;当地人口增长、经济发展等数据来自2000-2018年《山西统计年鉴》、吕梁市2018年国民经济和社会发展统计公报和2000年山西省第五次人口普查主要数据公报[18-20]等。上述数据分析工具为ArcGIS 9.2软件。利用土地类型转换矩阵计算2000-2010、2010-2018以及2000-2018年间吕梁市土地利用类型转换面积,并借助Origin绘制其面积转变桑基图。

## 2　结果与分析

### 2.1　土地利用结构变化

2000-2018年吕梁市土地利用结构变化显著,耕地面积显著减小,草地、水域及建设用地面积显著增加,林地和未利用地面积变化不显著(图1)。

可见,吕梁市近20 a间的土地利用结构仍以农业用地即耕地、林地、草地为主,3种类型土地面积均占到当年土地总面积的30%左右,其中又以耕地类型为主,其面积分别为7 416.74 $km^2$(2000年)、7 039.45 $km^2$(2010年)和6 929.79 $km^2$(2018年),而水域、建设用地和未利用地面积均较小,其

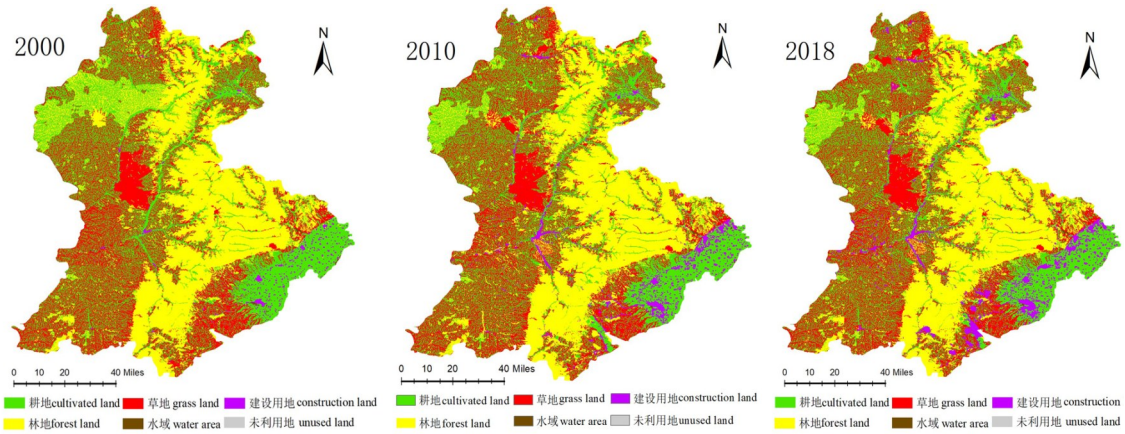



**图1 吕梁市2000、2010、2018年土地利用类型分布**

**Fig.1** Distribution of land use types in Lvliang city in 2000, 2010, and 2018

中又以建设用地面积最大,分别占当年土地总面积的1.21%(2000年)、3.35%(2010年)和4.46%(2018年),不同土地利用类型面积及比例统计结果见表1。

**表1 吕梁市不同时期土地利用面积及其比例**

**Table1** Land use area and proportion in Lvliang city at different periods

| 土地利用类型 Lang—use type | 2000 | | 2010 | | 2018 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 面积/km² Area | 比例/% Ratio | 面积/km² Area | 比例/% Ratio | 面积/km² Area | 比例/% Ratio |
| 耕地 | 7 416.74 | 35.26 | 7 039.45 | 33.47 | 6 929.79 | 32.95 |
| 林地 | 7 257.31 | 34.50 | 6 959.58 | 33.09 | 6 843.47 | 32.53 |
| 草地 | 6 000.85 | 28.53 | 6 261.01 | 29.77 | 6 246.38 | 29.70 |
| 水域 | 104.43 | 0.50 | 69.75 | 0.33 | 75.30 | 0.36 |
| 建设用地 | 254.73 | 1.21 | 704.79 | 3.35 | 938.96 | 4.46 |
| 未利用地 | 0.17 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 0.35 | 0.00 |

## 2.2 土地利用动态变化

吕梁市2000-2018年土地利用面积动态变化如表2所示。可见,2000-2010年吕梁市耕地、林地和水域面积均减小,降幅分别为5.1%、4.1%和33.2%,水域面积减少最多,而草地和建设用地面积均增大,增幅分别为4.3%、176.7%,又以建设面积增加最显著,未利用地面积变化可忽略不计。可见,吕梁市2000-2010年有大量耕地、林地和水域转变为草地和建设用地,其中又以向建设用地转变为主。2010至2018年耕地和林地面积持续减少,同时草地面积也有少量降低,降幅分别为1.6%、1.7%和0.2%,而水域、建设用地和未利用地面积均显著增大,增幅分别为8.0%、33.2%和105.5%。可见,吕梁市2010-2018年有大量耕地和林地转变为建设用地的同时,又有一定面积的农业用地被荒废为未利用地或开发成为湖泊、池塘等水域用地。总体上,吕梁市2000-2018近20 a间有大量农业用地转变成了建设用地和未利用地,其土地利用结构逐渐向建设用地转变,这一发展态势可由吕梁市近20 a间单一土地利用动态度($J$)变化(表3)进一步证实。

## 2.3 单一土地利用动态度

本文2.2节已概述了吕梁市2000-2018年的土地利用结构转变态势,而其近20 a间单一土地利用动态度($K$)的变化如表3所示。可见,2000-2010年吕梁市建设用地$K$最大,为17.67%,其次为水域用地(3.32%),耕地、林地和草地的土地$K$均维持在0.40%左右,未利用地$K$最小(0.04%),表明吕梁市2000-2010年建设用地变化最大,水域用地变化次之,耕地、林地、草地等农业用地面积变化相当,未利用地变化最小,其中建设用地和草地以及未利用地均表现为面积增加,而耕地、林地

**表2　2000－2018年吕梁市土地利用面积变化及其变化幅度**

**Table 2**　Changes of land use area and the magnitude in Lvliang city from 2000 to 2018

| 土地利用类型 Lang－use type | 2000－2010 | | 2010－2018 | |
|---|---|---|---|---|
| | 面积变化/km² Area change | 变化率/% Change rate | 面积变化/km² Area change | 变化率/% Change rate |
| 耕地 | －377.29 | －5.1 | －109.66 | －1.6 |
| 林地 | －297.73 | －4.1 | －116.10 | －1.7 |
| 草地 | 260.16 | 4.3 | －14.63 | －0.2 |
| 水域 | －34.68 | －33.2 | 5.55 | 8.0 |
| 建设用地 | 450.05 | 176.7 | 234.18 | 33.2 |
| 未利用地 | 0.00 | 0.4 | 0.18 | 105.5 |

和水域则均表现为面积减少。2010-2018年吕梁市未利用地$K$最大,为13.19%,建设用地次之(4.15%),水域用地$K$为0.99%,耕地和林地$K$维持在0.20%左右,草地$K$最小(0.03%),可见2010-2018年吕梁市未利用地、建设用地以及水域面积均增大,而农业用地面积则均减小。总体上,除未利用地,2010-2018年吕梁市建设用地面积变化最显著,近20 a间均增大,耕地和林地变幅相当,均逐渐减小,表明吕梁市近20 a间城镇化进程中对耕地和林地的占用量最大。

**表3　2000－2010年、2010－2018年土地利用动态度($K$,%)分析**

**Table 3**　Analysis of land use dynamics($K$,%) from 2000 to 2010 and from 2010 to 2018

| 土地利用类型 Lang－use type | 2000－2010 | 2010－2018 |
|---|---|---|
| 耕地 | －0.51 | －0.19 |
| 林地 | －0.41 | －0.21 |
| 草地 | 0.43 | －0.03 |
| 水域 | －3.32 | 0.99 |
| 建设用地 | 17.67 | 4.15 |
| 未利用地 | 0.04 | 13.19 |

## 2.4　土地利用信息熵、均衡度、优势度演变

吕梁市2000、2010、2018年土地利用信息熵($H$)、均衡度($J$)与优势度($I$)变化如表4所示。由表可知,2000-2018年吕梁市土地利用$H$和$J$均呈"快速增长-稳步增长"的发展态势。吕梁市土地利用结构变化趋势大体经历了2个发展阶段:第1个阶段是2000-2010年土地利用结构$H$和$J$快速增长期,其$H$由2000年的0.51 Nat增长到2010年的0.53 Nat,$J$由2000年的0.65增长到2010年的0.68,增幅较大;第2阶段是2010-2018年土地利用结构$H$和$J$稳步增长期,其$H$由0.53 Nat增长到0.54 Nat,$J$由0.68增长到0.70,增幅较小,这一阶段吕梁市各类用地比例趋于平衡。2018年土地利用$H$和$J$均达到最高点,而$I$则相反。2000-2018年吕梁市土地利用$I$呈"持续降低"的发展态势,且在2018年达到最低点(0.30),表明2018年吕梁市土地利用类型较前17 a最多,且各用地类型间面积差值最小,土地利用结构处于均衡状态。

**表4　2000、2010和2018年土地利用信息熵、均衡度和优势度变化**

**Table 4**　Changes in land use information entropy, equilibrium degree and dominance degree in 2000, 2010, and 2018

| 年份 Year | 信息熵/Nat Information entropy | 均衡度 Equilibrium degree | 优势度 Dominance degree |
|---|---|---|---|
| 2000 | 0.51 | 0.65 | 0.35 |
| 2010 | 0.53 | 0.68 | 0.32 |
| 2018 | 0.54 | 0.70 | 0.30 |

## 2.5　土地利用类型转变

各用地类型间的相互转化保持一定动态性,为了更精确地确定不同用地类型间的土地转移方向,本文绘制了吕梁市2000-2010、2010-2018以及2000-2018年土地利用转变桑基图(图2)。

### 2.5.1　2000－2010年土地利用转变分析

作为三大农业用地类型,2000-2010年吕梁市耕地、林地和草地发生了不同转变。耕地面积整体减小了377.99 km²,其中有198.65 km²转变为林地,有560.83 km²转变为草地,另有361.80和11.08 km²分别转变为建设用地和水域用地,以向

草地和建设用地转变为主(图2a);林地面积有165.85 km²转变为耕地,419.86 km²转变为草地,23.07 km²转变为建设用地,转变为水域和未利用地的面积分别为2.41和0.02 km²,林地转出面积合计611.21 km²,远高于其转入面积(314.24 km²)(图2a);10 a间吕梁市草地面积转入992.67 km²,转出732.62 km²,整体增加。因此,2000-2010年吕梁市耕地和林地面积大幅减少,主要转变为草地和建设用地,而草地面积增大,农业用地面积整体减小。

作为非农业用地,2000-2010年吕梁市建设用地面积大幅增加,水域面积略微减小,未利用地面积保持动态平衡。其中,有361.80 km²耕地、23.07 km²林地、77.25 km²草地以及14.34 km²水域面积转变为建设用地(图2a),建设用地转出面积合计为27.22 km²,净增大449.24 km²。

可见,2000-2010年吕梁市农业用地虽有大面积转变为建设用地,建设用地面积逐渐增大,但其土地利用结构仍以耕地、林地和草地等农业用地为主。

2.5.2 2010—2018年土地利用转变分析

整体上,2010-2018年吕梁市农业用地面积均减小。其中,耕地面积转出828.41 km²,分别转变为林地(123.01 km²)、草地(537.85 km²)、建设用地(161.38 km²)和水域(6.17 km²),以向草地和建设用地转变为主(图2b)。另有148.71 km²林地、519.00 km²草地、48.06 km²建设用地和2.83 km²水域转变为耕地,合计转入718.59 km²,转出面积大于转入面积,耕地面积整体减小。此外,这10 a吕梁市其它类型土地共计有205.33 km²转入为林地,有322.28 km²林地转出为耕地(148.71 km²)、草地(75.08 km²)、建设用地(97.18 km²)、水域(1.12 km²)和未利用地(0.20 km²)(图2b),林地面积减小;作为第三种农业用地,吕梁市草地面积在2010-2018年转出与转入面积相近,二者相差15.05 km²。

不同于农业用地,2000-2010年吕梁市水域、建设用地和未利用地等非农业用地面积均增大,3种土地类型转入面积大于其转出面积。其中,有161.38 km²耕地、97.18 km²林地、48.59 km²草地和0.42 km²水域转变为建设用地,以耕地向建设用地的转变面积最大(图2b),另有6.17 km²耕地、1.12 km²林地、3.81 km²草地和0.71 km²建设用地转出为水域(图2b),未利用地面积虽然增大,但其转出与转入面积相近。

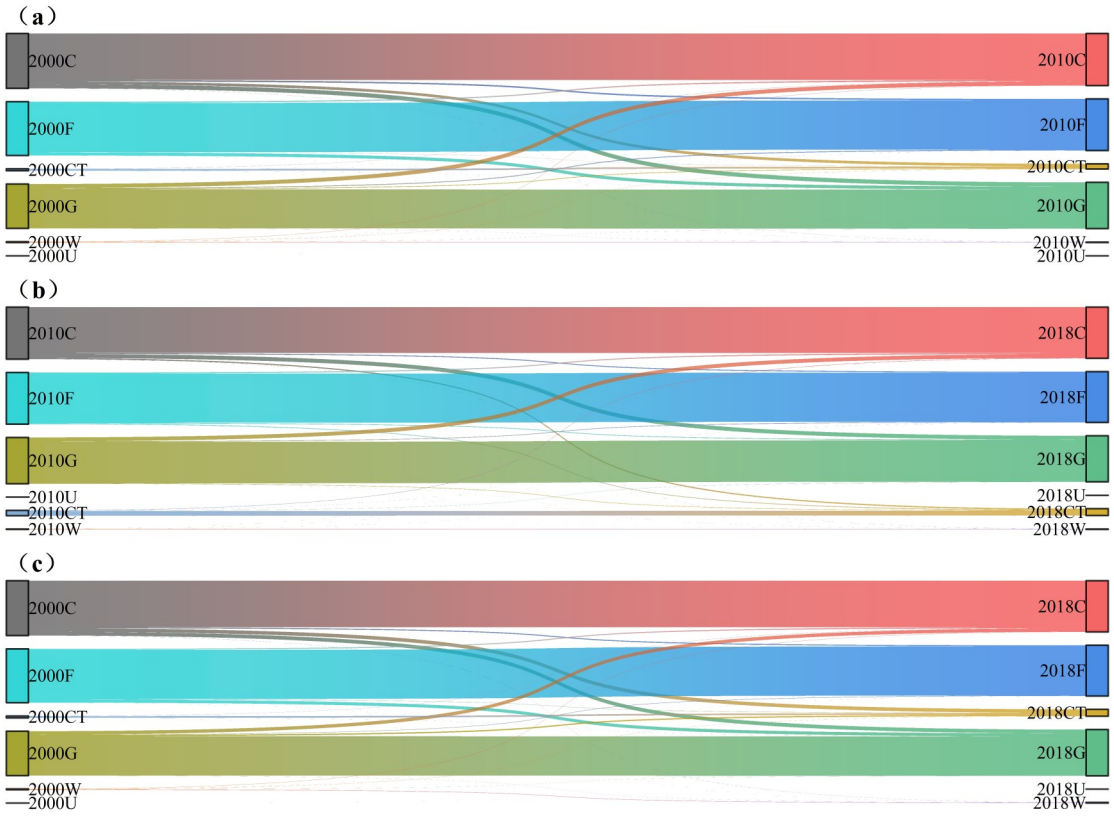
因此,2010-2018年吕梁市耕地和林地面积大幅减少,转变为建设用地,但期间土地利用结构仍以农业用地为主。

2.5.3 2000—2018年土地利用转变分析

2000-2018年吕梁市耕地有136.60 km²转变为林地,有503.21 km²转变为草地(占比最大),有13.27 km²转变为水域,有480.07 km²转变为建设用地,合计有1 133.15 km²耕地转变为其它类型土地(图2c)。另有143.72 km²林地、453.41 km²草地、27.96 km²水域以及21.00 km²建设用地转变为耕地,共计646.09 km²。此外,2000-2018年吕梁市林地面积有608.36 km²转变为其它土地类型,其中有143.72 km²转变为耕地,有415.88 km²转变为草地(占比最大),有2.63 km²转变为水域,45.93 km²转变为建设用地,另有0.20 km²林地转变为了未利用地(图2c)。同时,又有194.38 km²其它类型土地转变为林地。作为另一种农业用地类型,草地面积的输入量与输出量也表现出巨大差异。至2018年,共有686.36 km²草地转变为了其它用地类型,其中以向耕地转变为主,面积达453.41 km²,另有53.97、7.69和171.30 km²转变为了林地、水域和建设用地。同时,有931.71 km²的其它类型土地转变为草地,以耕地和林地的转变量最大,分别为503.21和415.88 km²(图2c)。

2000-2018年吕梁市建设用地总输入量为711.26 km²,各类型土地向建设用地的输出量分别为480.01 km²(耕地,占比最大)、45.93 km²(林地)、171.30 km²(草地)、13.96 km²(水域);另有21.00、0.84、4.90和0.36 km²建设用地依次转变为耕地、林地、草地、水域,输出量合计27.10 km²(图2c)。作为另外2种非农业用地,吕梁市水域面积2000-2018年整体减少,减量为51.76 km²,减少的水域面积主要转为耕地和建设用地,转变量分别为27.96和13.96 km²(图2c),而未利用地面积变化较小,其对土地利用结构调整的影响基本可以忽略。

综上,2000-2018年吕梁市耕地和林地面积大幅减少,总计有487.06 km²耕地和413.98 km²林地转变为其它土地类型,其中耕地主要转变为建




C:耕地;F:林地;G:草地;W:水域;CT:建设用地;U:未利用地

C: Cultivated land; F: Forest land; G: Grass land; W: Water area; CT: Construction land; U: Unused land

**图2　2000-2010(a)、2010-2018(b)以及2000-2018(c)年吕梁市土地利用类型转变桑基图**

**Fig.2**　Sankey diagram of land use transition in Lvliang city from 2000 to 2010 (a), 2010-2018 (b) and 2000-2018 (c)

设用地,而林地主要转变为草地,导致吕梁市草地面积近20 a间显著增大,增量为245.35 km$^2$。近20 a间吕梁市建设用地面积增加684.16 km$^2$,其中以耕地向建设用地转变量最大,草地次之。水域和未利用地面积变化不大,保持动态平衡。

### 2.6　吕梁市土地利用结构变化驱动力分析

影响土地利用结构变化的因素主要包括自然(气候、水文、地形、土壤等)和社会经济(人口、经济、政府规划和城镇化驱动)2个方面[3, 21-23],而自然因素变化对吕梁市土地利用结构调整的影响在短时间内难以体现,本文主要分析人口、经济、政府规划和城镇化驱动等社会经济因素对吕梁市2000-2018年土地利用结构变化的驱动力。

#### 2.6.1　人口增长

人口变化是影响土地利用结构调整的重要因素[3,19,24-26]。21世纪随着医疗、卫生等生活条件的改善,人类出生率显著高于死亡率,导致人口激增。2018年吕梁市人口总计388.56万人(数据来自吕梁市2018年国民经济和社会发展统计公报[19]),较2000年(总人口338.16万人,数据来自2000年山西省第五次人口普查主要数据公报[20])净增长50.4万人,日益增长的人口会产生巨大的用地需求[3],吕梁市土地利用结构必然会随着人口增长而发生显著变化。理论上,人口数量增加对粮食需求量的压力会推动耕地面积的增加,但本文数据显示吕梁市2000-2018年耕地和林地面积均大幅减少(表1),可见人口增长并未推动吕梁市其它土地类型向耕地的转变,即人口增长并未引起耕地面积的增加,其对吕梁市土地利用结构的调整主要体现为对建设用地面积增加的推动作用。为满足新增人口的住房需求,大量耕地和林地等农业用地被划为宅基地,导致耕地和林地面积大幅减少以及建设用地面积的显著增加(表1;图2)。此外,人们在土地利用过程中不合理的耕作、施肥以及农药喷施也会造成生态破坏与水土流失、土地沙化及土地污染等问题,而使大量耕地退化为未利用地[17],人口增长引发的一系列粮食、住房、生态环境问题均会造成土地利用结构的显

著改变。

2.6.2 经济发展

作为人类经济活动的载体,不同土地利用类型间的转变必然会受到本地经济发展水平的影响,故经济发展也是影响土地利用结构变化的主要因素[3,21-22]。经济发展提高人们经济收入的同时也加快了基础设施建设,住宅、学校、医院、商场以及商店等生活配套设施的建设侵占了大量农业用地,同时,随着人们生活水平的提高,人们对农产品的需求种类也发生改变,水果、蔬菜的大量种植造成以产粮为主的耕地面积的减少,从而间接导致土地利用结构的改变。自吕梁市产业结构调整以来,一二三产业均得到了迅速发展,2018年吕梁市地区生产总值(GDP)达到1 420.3亿元,同比增长5.2%,其中,第一产业增加值59.49亿元,增长1.6%,占生产总值的4.2%;第二产业增加值871.96亿元,增长1.7%,占生产总值的61.4%;第三产业增加值488.87亿元,增长11.0%,占生产总值的34.4%[27]。可见,第二产业对吕梁市地区生产总值增长的贡献率最大,而吕梁市第二产业主要为高效新能源产业,其建设和发展对土地尤其是林地的需求量较大,会造成林地面积的大量减少,土地利用结构发生改变。另外,本文数据显示,2000-2018年吕梁市耕地和林地面积逐渐减少,而建设用地面积则显著增加(表1),这与吕梁市2018年的高经济增长正向呼应,同时土地利用类型转变桑基图也显示有大量耕地转变为建设用地(图2a、2c)。可见,2000-2018年吕梁市经济发展对其土地利用结构转变产生了重大影响。

2.6.3 政府规划

国家会依据国内外发展形势制定相关的发展政策,并采取相应措施以保证政策的实施,其中与土地相关的政策会对土地利用结构产生一定影响。若土地利用类型之间转换过度,政府会根据这些信号制定出相应的政策,吕梁市发布的积极进行土地合理规划与整治的政策,既保障了建设用地需要,也显著改善了土地质量。2000-2018年吕梁市土地利用结构不断趋向均衡稳定发展(表4),可见政府规划对土地利用结构的调整起到了显著的促进作用。

2.6.4 城镇化驱动

2005年10月,党的十六届五中全会通过《十一五规划纲要建议》,提出了“社会主义新农村建设”,农村建设迈入快车道,同时,在经济飞速发展的背景下,我国进入城镇化发展阶段,城市规模逐渐扩大。据统计,从2000年到2010年我国的城镇化水平显著提高,从36.22%提升至49.95%[28],而随着城镇化的迅速发展,农村地区也进行了大量楼房、商场、超市及道路建设,占用了大量耕地,同时农村人口不断涌入城市,造成城市规模不断扩大,生活、医疗、娱乐用地量不断增加,建设用地面积不断增加,而农业用地面积不断减少,土地利用结构发生改变。另一方面,城镇化对土地利用结构调整的驱动主要表现为3大特征:一是农村人口的转移;二是非农产业向城镇聚集;三是农业劳动力向非农业劳动力转移[29]。由于越来越多的农业用地被建设用地侵占,同时吕梁市大量农民放弃种地到城镇打工,使农用地的土地利用效率降低甚至被荒废,逐渐转变为草地和未利用地,这也是2010-2018年未利用地面积显著增加(表2、表3)的原因之一。2000-2018年间吕梁市城镇化速度不断加快,2021、2022和2023年吕梁市城镇化率分别达到55%、54.9%和56.1%(数据来自吕梁日报[30]和吕梁市2022与2023年国民经济和社会发展概览[31-32]),城镇化率不断升高,城市建设用地面积不断增加,而耕地、林地不断减少(表1),城镇化驱动也会对吕梁市土地利用结构变化产生巨大影响。

## 3 讨论

土地利用结构反映了某地区一定时间内土地资源的配置状况[3,6],其对当地土地资源开发利用具有重要的理论指导作用。本研究从信息熵($H$)、均衡度($J$)、优势度($I$)、动态度($K$)4个方面系统阐述了吕梁市2000-2018年土地利用结构变化。然而,本文对吕梁市2000-2018年土地利用结构调整的驱动力分析较主观,缺乏对驱动因素的回归、相关性及主成分等定量分析,我们将在今后的土地利用结构研究中,深化研究方法,将定性分析与定量分析相结合,用强有力的统计分析数据支撑研究结果,为今后吕梁市乃至全山西省土地利用结构的调整提供坚实可靠的理论参考。

随着人口增长和城镇经济的迅速发展,吕梁市社会经济结构由农业经济逐渐向工业或其它非农业经济形式转变。同时,本研究发现吕梁市

2000-2018年土地利用结构$H$和$J$呈“快速增长”(2000-2010年)至“稳步增长”(2010-2018年)的阶段性变化(表4),而$I$则呈“持续降低”的发展态势(表4),这表明吕梁市2000至2018年土地利用结构虽仍以农业用地为主,但随着耕地和林地逐渐向建设用地和未利用地转变,吕梁市今后农业用地面积将会降低。2013年12月23日至24日,中央农村工作会议在北京召开,会议提出确保粮食安全,坚守18亿亩耕地红线。本研究中,2000-2010年以及2010-2018年吕梁市耕地、林地、草地等农业用地面积虽均减小,但2010-2018年的减小幅度显著低于2000-2010年。可见,随着国家“坚守18亿亩耕地红线”相关政策的实施,吕梁市2010-2018年间加大了对农用地尤其耕地和林地的保护力度,促进了农用地结构的显著改善。我们建议当地政府应采取有效措施遏制农用地面积的减少趋势,加大农、林业投入力度(人力、物力、财力等),以增加耕地和林地面积;同时,全民应加大土地开垦以及退耕还林还草力度,增强“山水林田湖草”生命共同体意识,提高思想认知,秉持习近平总书记“绿水青山就是金山银山”的绿色发展理念,用实际行动推动土地利用结构“生态效益、社会效益、经济效益”的有序良性发展。

## 4　结论

本研究主要结论有:吕梁市2000-2018年土地利用结构仍以耕地、林地、草地等农业用地为主,其它类型土地面积较小,但耕地和林地面积逐渐减小,建设用地及未利用地面积不断增加,其中又以建设用地面积增幅最大;近20 a间,吕梁市土地利用结构变化较大,各用地类型间面积差值变小,土地利用结构趋于均衡;另外,近20 a间,吕梁市有大量耕地和林地等农业用地转变其它用地类型,其中以向建设用地转变为主,另有一部分农业用地转变为未利用地;人口增长、经济发展、政府规划以及城镇化驱动均对吕梁市土地利用结构调整产生巨大的影响。

## 参　考　文　献

[1]朱道林. 土地管理学[M]. 3版. 北京:中国农业大学出版社,2022:1-4.
Zhu D L. Land Administration [M]. 3rd Edition. Beijing: China Agricultural University press,2022:1-4.

[2]吴宗杰,董会忠,王格. 土地利用结构变化及影响因素分析——以山东省潍坊市为例[J]. 山东理工大学学报(社会科学版),2015,31(5):5-8.
Wu Z J, Dong H Z, Wang G. An analysis of changes and influence factors in land utilization structure of Weifang city[J]. Journal of Shandong University of Technology (Social Sciences Edition), 2015, 31(5): 5-8.

[3]于雪丽,郭欢欢,李灿,等. 基于信息熵的重庆市土地利用结构时空演变及其驱动因素分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(17):261-265.
Yu X L, Guo H H, Li C, et al. Study on spatio-temporal evolution and driving factors of land use structure in Chongqing city based on information entropy [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(17): 261-265.

[4]文洁. 基于改进TOPSIS方法的甘肃省土地利用结构合理性评价[D]. 兰州:甘肃农业大学,2009.
Wen J. Assessment on the rationality of land use structure in Gansu Province based on improved TOPSIS method [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2009.

[5]罗思颖. 湘西州土地资源开发潜力研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2018.
Luo S Y. Study on land resources development potential in Xiangxi autonomous prefecture of Hunan Province [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2018.

[6]李桃桃,张龙飞,赵筱青. 基于生态足迹的土地利用结构优化研究综述[J]. 云南地理环境研究,2015,27(3):41-46.
Li T T, Zhang L F, Zhao X Q. Review of research on land utilization structure optimization based on ecological footprint [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2015, 27(3): 41-46.

[7]田光进,张增祥,王长有,等. 基于遥感与GIS的海口市土地利用结构动态变化研究[J]. 自然资源学报,2001,16(6):543-546.
Tian G J, Zhang Z X, Wang C Y, et al. Dynamic change of land-use structure in Haikou by remote sensing and GIS [J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(6): 543-546.

[8]顾蕾,吴春骏,王鑫. 基于遥感的临安市土地利用变化及驱动力分析[J]. 浙江林学院学报,2009,26(6):870-876.
Gu L, Wu C J, Wang X. Land utilization pattern changing and driving force analysis based on remote sensing data in Lin'an [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009, 26(6): 870-876.

[9]白洪伟,吴满意. 合肥市土地利用结构变化规律及趋势预测分析[J]. 河北北方学院学报(自然科学版),2016,32(3):28-31.
Bai H W, Wu M Y. Analysis and prediction of change pattern and trend in land use structure of Hefei city[J]. Journal of Hebei North University (Natural Science Edition), 2016, 32(3): 28-31.

[10]胡源,王秀兰. 武汉市土地利用结构变化及其驱动因素分析[J]. 水土保持研究,2014,21(6):234-239.
Hu Y, Wang X L. Analysis on the change of land use structure and its driving factors in Wuhan city[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(6): 234-239.

[11]张引刚. 低碳时代山西能源结构调整与煤炭转型发展分析[J]. 中国能源,2014,36(3):40-42.
Zhang Y G. Discussion of Shanxi energy structure adjustment and coal transformation development in the era of low carbon [J]. Energy of China,2014,36(3):40-42.

[12]任明敏. 孝义市土地利用结构变化的驱动力研究[D]. 太谷:山西农业大学,2014.
Ren M M. Study on the driving forces of land use structure change in Xiaoyi city [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2014.

[13]刘学,孙泰森. 太原城市土地利用结构演变及驱动力分析[J]. 山西师范大学学报(自然科学版),2014,28(4):84-89.
Liu X, Sun T S. Research on the land use structure evolvement and its driving forces in Taiyuan city[J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition), 2014, 28(4): 84-89.

[14]吕梁市人民政府. 吕梁概况[EB/OL].(2023-1-27)[2024-4-22]http://www.lvliang.gov.cn/zjll/llgl/llgk/.
The People's Government of Lvliang City. Overview of Lvliang City [EB/OL]. (2023-1-27) [2024-4-22] http://www.lvliang.gov.cn/zjll/llgl/llgk/.

[15]吕梁市统计局. 吕梁市2022年国民经济和社会发展概览[EB/OL].(2023-6-27)[2024-4-22]http://www.lvliang.gov.cn/zjll/zyys/zysjzb/202306/t20230627_1772126.html.
Lvliang Municipal Bureau of Statistics. Overview of National Economic and Social Development in Lvliang City in 2022 [EB/OL].(2023-6-27)[2024-4-22]http://www.lvliang.gov.cn/zjll/zyys/zysjzb/202306/t20230627_1772126.html.

[16]蒲荣,王宝春,辛瑞超. 基于GM模型的天水市麦积区土地利用结构演变分析及预测[J]. 甘肃农业科技,2022,53(2):73-78.
Pu R, Wang B C, Xin R C. Dynamic evolution and prediction of land use structure in Maiji district of Tianshui city based on GM model[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2022, 53(2): 73-78.

[17]高星,刘泽伟,李晨曦,等. 基于"三生空间"的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究[J]. 生态学报,2020,40(20):7113-7122.
Gao X, Liu Z W, Li C X, et al. Land use function transformation in the Xiong'an New Area based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7113-7122.

[18]山西省统计局,国家统计局山西调查总队. 山西统计年鉴—2019[M]. 北京:中国统计出版社,2019.
Shanxi Provincial Bureau of Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Shanxi. Shanxi Statistical Yearbook 2019[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019.

[19]吕梁市统计局,国家统计局吕梁调查队. 吕梁市2018年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2019-4-15)[2024-4-22] http://www.lvliang.gov.cn/zfjgzd/lltj/tjjtzgg/201904/t20190415_1238102.html.
Lvliang Municipal Bureau of Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Lvliang. Statistical Bulletin on National Economic and Social Development of Lvliang City in 2018[EB/OL].(2019-4-15)[2024-4-22]http://www.lvliang.gov.cn/zfjgzd/lltj/tjjtzgg/201904/t20190415_1238102.html.

[20]山西省统计局.2000年山西省第五次人口普查主要数据公报[N]. 山西经济日报,2001-05-31(4).
Shanxi Provincial Bureau of Statistics. Communiqué on the main data of the fifth population census of Shanxi Province in 2000[N]. Shanxi Economic Daily,2001-05-31(4).

[21]刘光旭,王小军,相爱存,等. 赣江中上游地区土地利用变化空间分异与驱动因素[J]. 应用生态学报,2021,32(7):2545-2554.
Liu G X, Wang X J, Xiang A C, et al. Spatial heterogeneity and driving factors of land use change in the middle and upper reaches of Ganjiang River, Southern China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(7): 2545-2554.

[22]Bičík I, Jeleček L, Štěpánek V. Land-use changes and their social driving forces in Czechia in the 19th and 20th centuries [J]. Land Use Policy, 2001, 18(1): 65-73.

[23]DeFries R S, Foley J A, Asner G P. Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2004, 2(5): 249-257.

[24]杨琳.永吉县土地利用结构变化及人文驱动因素分析[D]. 长春:吉林农业大学,2021.
Yang L. Analysis of land use structure change and human driving factors in Yongji County [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2021.

[25]Terama E, Clarke E, Rounsevell M D A, et al. Modelling population structure in the context of urban land use change in Europe[J]. Regional Environmental Change, 2019, 19(3): 667-677.

[26]Horvat U, Žiberna I. The correlation between demographic development and land-use changes in Slovenia [J]. Acta Geographica Slovenica, 2020, 60(2): 33-55.

[27]吕梁市统计局. 吕梁市2018年国民经济和社会发展概览[EB/OL].(2019-3-22)[2024-4-22]http://www.lvliang.gov.cn/zjll/zyys/zysjzb/201903/t20190322_1225217.html.
Lvliang Municipal Bureau of Statistics. Overview of the National Economic and Social Development of Lvliang City in 2018[EB/OL].(2019-3-22)[2024-4-22]http://www.lvliang.gov.cn/zjll/zyys/zysjzb/201903/t20190322_1225217.html.

[28]门丽君. 谈城乡一体化建设的规划设计[J]. 山西建筑,2013,39(3):31-33.
Men L J. On planning design for urban and rural integrated construction[J]. Shanxi Architecture, 2013, 39(3): 31-33.

[29]周斯黎,陈新,罗政. 城镇化进程中土地利用结构调整问题的思考——以衡南县为例[J]. 国土资源导刊,2016,13(3):60-62.
Zhou S L, Chen X, Luo Z. Investigation on the structure readjustment of land utilization in urbanization process—a case study of Hengnan County [J]. Land & Resources Herald, 2016, 13(3): 60-62.

[30]王涛. 城镇面貌展新颜——我市加快城镇化建设工作综述[N]. 吕梁日报,2022-09-08(1).

Wang Tao. Town appearance show a new face-overview of the city to speed up urbanization construction work [N]. Lvliang Daily,2022-09-08(1).

[31] 吕梁市统计局,国家统计局吕梁调查队. 吕梁市2022年国民经济和社会发展概览[EB/OL].(2023-6-27)[2024-11-15] http://www.lvliang.gov.cn/zjll/zyys/zysjzb/202306/t20230627_1772126.html.
Lvliang Municipal Bureau of Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Lvliang. Overview of the National Economic and Social Development of Lvliang City in 2022 [EB/OL]. (2023-6-27) [2024-11-15] http://www.lvliang.gov.cn/zjll/zyys/zysjzb/202306/t20230627_1772126.html.

[32] 吕梁市统计局,国家统计局吕梁调查队. 吕梁市2023年国民经济和社会发展概览[EB/OL].(2024-4-7)[2024-11-15] http://www.lvliang.gov.cn/zjll/zyys/zysjzb/202404/t20240407_1855022.html.
Lvliang Municipal Bureau of Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Lvliang. Overview of the National Economic and Social Development of Lvliang City in 2023[EB/OL].(2024-4-7)[2024-11-15]http://www.lvliang.gov.cn/zjll/zyys/zysjzb/202404/t20240407_1855022.html.

## Analysis of land use structure changes and driving forces in Lvliang city from 2000 to 2018

Zhu Kai[1], Liu Na[1,2], Xia Lu[1], Li Shuai[1], Lü Chunjuan[1], Liu Fenwu[1]

(*1.College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China; 2.School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*)

**Abstract**: [Objective] To improve land use efficiency, this study examined changes in land use structure and the driving forces behind them to support the rational allocation and utilization of land resources in Lvliang City. [Methods] We selected Lvliang City as the research area, using Landsat8 remote sensing imagery and land use indicators such as information entropy ($H$), equilibrium degree ($J$), dominance degree ($I$), and dynamic degree ($K$), along with a land use type transformation matrix, to analyze structural changes from 2000 to 2018. [Results] The results showed that (1) From 2000 to 2018, agricultural land types such as cultivated land, forest land, and grassland remained the predominant land use categories in Lvliang City. The areas of other land types were relatively small, but the cultivated and forest land areas gradually decreased, while the construction and unused land areas increased, with the largest increase in the of construction land area. (2) Both $H$ and $J$ displayed a trend of ′rapid growth followed by stable growth′, while I continued to decrease, indicating notable shifts in land use structure and a trend toward greater balance over the study period in Lvliang City. (3) Over the past 20 years, significant areas of agricultural land-487.06 $km^2$ of cultivated land and 413.98 $km^2$ of forest transitioned to other land types, with construction land as the main conversion type; Additionally, 0.23 $km^2$ of agricultural land transitioned to unused land; (4) Population growth, economic development, urban planning, and urbanization were major drivers impacting land use adjustment in Lvliang City. [Conclusion] It is essential to enhance land reclamation efforts, including reforestation and grassland restoration initiatives. Increased investments in agriculture and forestry (including human, material, and financial resources) are also needed to expand cultivated and forest land areas.

**Keywords**: Land use, Information entropy, Equilibrium degree, Dominance degree, Driving forces

(编辑:郭玥微)