

党怡雯, 刘景刚, 张家琛, 等. 基于地形梯度的阜平县景观格局演变与热环境效应分析[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 985-993.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.04.015

# 基于地形梯度的阜平县景观格局演变与热环境效应分析

党怡雯<sup>1</sup>, 刘景刚<sup>2</sup>, 张家琛<sup>1</sup>, 陈亚恒<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学国土资源学院, 河北 保定 071000; 2. 天津市滨海新区土地发展中心, 天津 300457)

**摘要:** 基于遥感影像和数字高程模型(DEM)数据, 运用地形分析、景观指数以及地表温度反演等方法, 对河北省阜平县景观格局与地表温度分布的地形梯度效应进行相关性分析。结果表明: 各景观类型优势分布呈现出明显的地形梯度特征, 景观类型变化中稳定型占绝对主导分布, 随地形梯度的升高, 景观格局的完整性越高, 类型越单一。地表温度在时间序列上呈现先上升后下降的趋势, 在空间序列上随地形位指数的升高, 地表温度呈现下降趋势, 且与景观格局存在一定空间相关性。

**关键词:** 地形梯度; 土地利用信息图谱; 景观格局; 热环境效应; 阜平县

**中图分类号:** P901; X87 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)04-0985-09

## Analysis of landscape pattern evolution and thermal environment effect in Fuping County based on topographic gradient

DANG Yi-wen<sup>1</sup>, LIU Jing-gang<sup>2</sup>, ZHANG Jia-chen<sup>1</sup>, CHEN Ya-heng<sup>1</sup>

(1. College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 2. Tianjin Binhai New Area Land Development Center, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Based on remote sensing images and digital elevation model (DEM) data, the correlation between the landscape pattern of Fuping County and the topographic gradient effect of the surface temperature distribution was analyzed by using methods such as terrain analysis, landscape index and ground temperature inversion. The research shows that the dominant distribution of each landscape type presented obvious topographic gradient characteristics, and the stable type was absolutely dominant in the change of landscape types. With the increase of topographic gradient, the integrity of the landscape pattern was higher, and the type was more single. The surface temperature increased firstly and then decreased in time series. In the spatial sequence, with the increase of topographic index, the surface temperature showed a downward trend, and there was a certain spatial correlation with the landscape pattern.

**Key words:** topographic gradient; land use information map; landscape pattern; thermal environment effect; Fuping County

土地是人类生存、生产、建设不可或缺的要素和载体, 在全球气候与环境变化的研究领域中, 土地利用/土地覆盖变化(LUCC)是其中的重点内容。它直接反映人类活动作用于地球陆地表面生态系统产

生的结果, 是人类社会经济活动行为与自然生态过程交互和链接的纽带<sup>[1-2]</sup>。2005年全球土地计划(Global land Project, GLP)将土地利用/土地覆盖动态监测与模拟列为核心内容之一<sup>[3]</sup>。地形作为重要的地理环境要素, 对区域内光照、降水等气候资源以及养分等土壤资源的再分配起着主导作用, 直接影响着生态系统的物质流动和能量循环, 制约着土地利用的方式和程度, 进而影响区域土地利用的空间格局<sup>[4-5]</sup>, 也因此成为了山区贫困化的主要自然因

收稿日期: 2021-08-15

基金项目: 河北省社会科学基金项目(HB16YJ060)

作者简介: 党怡雯(1996-)女, 河北保定人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源利用。(E-mail) 550161492@qq.com

通讯作者: 陈亚恒, (E-mail) chenyaheng@126.com

素之一<sup>[6]</sup>。

近年来,探究不同地形梯度下土地利用方式、土地景观格局的转变已经趋于成熟。学者们将目光聚焦于不同研究视角:城市、山区、流域、森林等<sup>[6-11]</sup>以及不同研究尺度:省、市、县层面<sup>[7,12-13]</sup>。在此基础上,也有众多学者运用景观生态学原理,以空间粒度为切入点,对景观格局进行深入探究<sup>[14-15]</sup>。研究结果表明景观格局的演变与热环境效应也有密不可分的联系<sup>[16-18]</sup>。但目前鲜有人针对地形因素,将景观格局的演变与热环境效应结合起来进行系统分析。

河北省阜平县地形起伏较大,地形梯度明显,地势由东南向西北逐渐升高,自然生物分布也呈现一定的垂直地带性。区内生态环境较为脆弱,水土流失严重,裸地面积广。县内景观类型多样,其热量资源的分布也受到地形、地势的影响,深刻影响着土地利用的方式和格局。为了加快推进乡村振兴战略的实施,需要利用好阜平县的地形特色优势,掌握资源脉络,因地制宜进行生产、旅游建设。本研究以河北省阜平县为研究区,探究阜平县景观格局和热环境效应的地形梯度时空变化特征以及二者的相关性,揭示地形因子对景观格局和热环境效应的影响,为该区域推进乡村振兴战略、生态文明建设,景观格局的优化以及农业生产、旅游业的发展提供一定的理论依据。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况

阜平县位于河北省中西部,保定地区西部,地处太行山中北部东麓,属暖温带半干旱和半湿润地带。下辖 4 镇 9 乡,209 个行政村,1 208 个自然村,处于东经 113°45′~114°32′、北纬 38°39′~39°08′,总面积达 2 494 km<sup>2</sup>。全境地形复杂多样,山峦起伏,由于海拔高度的差异热量资源呈现阶梯状分布,西部深山区气候寒冷,温度较低,东部浅山区温度较高。境内流域面积 200 km<sup>2</sup> 以上的中小河流 6 条,大都是季节性河流。年平均气温 12.7℃,无霜期约 191 d,地区年降水量为 440~650 mm。境内景观类型多样,矿产资源丰富,动植物资源有 800 余种。

### 1.2 数据来源及处理

本研究所用数据均来源于地理空间数据云,包含分辨率为 30 m 的 DEM 数字高程数据和 Landsat TM 和 Landsat OLI\_TIRS 的 2009 年 7 月 2 日、2014 年 7 月 25 日、2019 年 7 月 23 日 3 期遥感影像数据,

成像时间均为 7 月,云量均低 10%,成像质量较好,且无极端异常天气。通过监督分类与人机交互式解译生成,同时,进行野外实地考察验证进行修正,将土地利用类型划分为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水体、其他土地,共计 7 类。

### 1.3 地形位指数和分布指数

单一分析地形因子不足以科学体现地形因素对土地利用方式和景观格局的影响程度。因此,引入地形位指数,综合高程与坡度双因子对地形特征进行综合描述,其计算公式如下<sup>[19]</sup>:

$$T = \ln[(E/E_0 + 1) \times (S/S_0 + 1)] \quad (\text{公式 1})$$

式中, $T$  为地形位指数, $E$ 、 $S$  分别表示研究区内任意点的高程值和坡度值, $E_0$ 、 $S_0$  分别表示计算单元内的平均高程和平均坡度。高程越高、坡度越大的区域地形位指数越大,反之则越小。

采用分布指数来描述研究区各景观类型在地形梯度上的空间分布情况,确定优势分布区间,其计算公式如下<sup>[20]</sup>:

$$P = (S_{ie}/S_i)/(S_e/S) \quad (\text{公式 2})$$

式中, $P$  为分布指数, $S_{ie}$  表示在  $e$  级地形内第  $i$  种景观类型的分布面积, $S_i$  表示第  $i$  种景观类型总面积, $S_e$  表示研究区内  $e$  地形区间的总面积, $S$  表示研究区总面积。当  $P > 1$  时,表示该类型景观在  $e$  级地形上呈优势分布, $P$  值越大,表示分布优势越明显<sup>[21]</sup>。

### 1.4 土地利用图谱分析法

土地利用图谱法是揭示土地利用时空变化过程的重要方法<sup>[19,22-23]</sup>。借助 ArcGIS10.2 软件进行空间叠加,得到变化信息图谱,可直观反映各个景观类型的演变过程,其计算公式:

$$Y = (G_1) \times 10^{n-1} + (G_2) \times 10^{n-2} + \dots + (G_n) \times 10^{n-n} \quad (\text{公式 3})$$

式中, $Y$  表示变化图谱, $n$  为土地利用变化时期数目, $G_n$  表示第  $n$  期数据中的景观类型。

### 1.5 景观格局指数

景观格局指数反映景观格局的空间结构信息。剔除指标的冗余度,本研究选取景观水平上的斑块密度( $PD$ )、最大斑块指数( $LPI$ )、景观形状指数( $LSI$ )、蔓延度( $CONTAG$ )、边缘密度( $ED$ )、香农多样性指数( $SHDI$ )共 6 个指标,应用 Fragstats4.2 软件进行计算,可较为全面地反映景观格局的特征。

## 1.6 地表温度反演

借鉴覃志豪等<sup>[24]</sup>提出的单窗算法对 Landsat TM 5 和 Landsat OLI 8 的热红外波段进行地表温度反演。对于 Landsat TM 5(波段 6)数据,计算公式如下:

$$T_6 = 1260.560 / \ln [1 + 60.776 / (0.1238 + 0.00563256DN_{TM6})] \quad (\text{公式 4})$$

式中,  $T_6$  为亮度温度值, 单位为 K;  $DN_{TM6}$  为 TM<sub>6</sub> 的像元 DN 值, 取值范围为 [0, 255]。

$$LST_6 = \{-67.355351(1 - C_6 - D_6) + [0.458606(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6]\} T_6 - D_6 T_a / C_6 \quad (\text{公式 5})$$

$$T_a = 17.97690 + 0.91715T_0 \quad (\text{公式 6})$$

$$C_6 = \varepsilon_6 \tau_6 \quad (\text{公式 7})$$

$$D_6 = (1 - \varepsilon_6) [1 + (1 - \varepsilon_6) \tau_6] \quad (\text{公式 8})$$

式中,  $LST_6$  为地表温度, 单位为 K, 地表温度取值范围通常在 0~70℃;  $T_a$  表示大气平均作用温度;  $C_6$ 、 $D_6$  为中间变量;  $T_0$  为地面附近气温, 单位为 K;  $\tau_6$  表示大气透射率;  $\varepsilon_6$  表示地表辐射率。

对于 Landsat OLI 8(波段 10)数据, 计算公式如下:

$$L_\lambda = M_L DN + A_L \quad (\text{公式 9})$$

式中,  $L_\lambda$  为波段  $\lambda$  的辐射亮度值,  $M_L$  为波段  $\lambda$  的增益值,  $A_L$  为波段  $\lambda$  的偏移值。

$$T_k = K_2 / \ln(K_1 / L_\lambda + 1) \quad (\text{公式 10})$$

式中,  $T_k$  表示亮温, 是运算过程中一个重要参数;  $K_1$  和  $K_2$  为定标常数,  $L_\lambda$  为上述辐射定标后的影像波段。其中  $K_1 = 774.89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ ,  $K_2 = 1321.08 \text{ K}$ 。

$$LST_{10} = \{-67.355351(1 - C_{10} - D_{10}) + [0.458606(1 - C_{10} - D_{10}) + C_{10} + D_{10}]\} T_k - D_{10} T_a / C_{10} \quad (\text{公式 11})$$

$$C_{10} = \varepsilon_{10} \tau_{10} \quad (\text{公式 12})$$

$$D_{10} = (1 - \varepsilon_{10}) [1 + (1 - \varepsilon_{10}) \tau_{10}] \quad (\text{公式 13})$$

式中,  $C_{10}$ 、 $D_{10}$  为中间变量,  $\varepsilon_{10}$  表示地表辐射率,  $\tau_{10}$  表示大气透射率。

$$t = LST - 273.15 \quad (\text{公式 14})$$

式中,  $LST$  为开氏温度, 单位为 K;  $t$  为摄氏温度, 单位为℃。

## 2 结果与分析

### 2.1 阜平县景观类型空间分布的地形梯度效应

2.1.1 不同等级地形位指数的分布 借助 ArcGIS10.2 软件提取研究区的高程和坡度, 进行叠加分析, 得

到阜平县地形位指数图(图 1)。参考路昌等<sup>[9]</sup>、孙丕苓等<sup>[19]</sup>的研究结果, 结合阜平县实际地貌特征, 采用等间隔的方法进行重分类<sup>[9, 25-27]</sup>, 将地形位指数分为 10 级, 界定低、中低、中高和高地形位指数 4 个不同梯度<sup>[20]</sup>。研究区内地形梯度以中低等级为主, 低等级和中高等级次之, 高等级面积仅占 0.05%。在地形位指数等级分布上, 集中分布在 3~6 级, 其中 4 级地形区面积占比 18.21%, 5 级地形区和 3 级地形区次之, 分别占 17.66% 和 17.28%(表 1)。

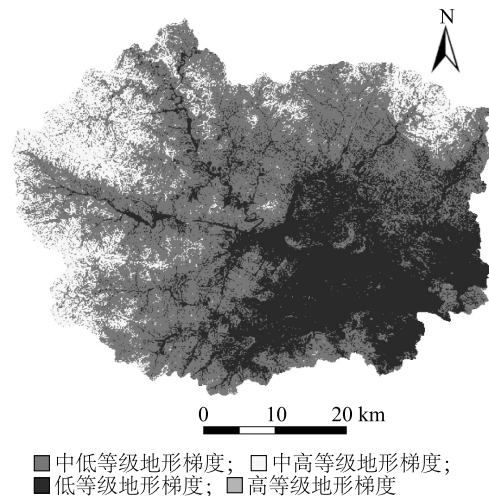


图 1 阜平县地形梯度分布图

Fig.1 Topographic gradient distribution map of Fuping County

表 1 阜平县地形位指数分级及其面积占比

Table 1 Topographic position index classification and area proportion in Fuping County

地形梯度	指形位 指数等级	分级区间	面积占比 (%)
低	1	<0.480	3.88
	2	0.480~0.756	11.90
	3	0.757~1.032	17.28
中低	4	1.033~1.308	18.21
	5	1.309~1.583	17.66
	6	1.584~1.859	15.26
中高	7	1.860~2.135	10.25
	8	2.136~2.410	4.63
	9	2.411~2.686	0.86
高	10	>2.686	0.05

#### 2.1.2 不同景观类型在地形梯度上的分布特征

景观类型的空间分布呈现出地带差异性, 不同地形位等级上各景观类型优势分布区间有所不同(图 2)。时间序列上, 各景观类型的优势分布区间不

变,且总体曲线形态基本相似。空间序列上,耕地、草地、建设用地、园地优势区段分布在1~3级地形区,水体优势分布区段分布在1~2级地形区,分布指数跨度大,一级地形区优势明显,说明其分布严格受地形位的限制,水体的优势分布区域也体现出研究

区河流和水库的分布。其他土地优势分布区段分布在4~6级地形区,林地优势分布区段分布在6~10级地形区。阜平县全境森林覆盖率较高,林地对各种地形具有较强的适应性,高程越高、坡度越大的地区,林地的分布优势越为明显。

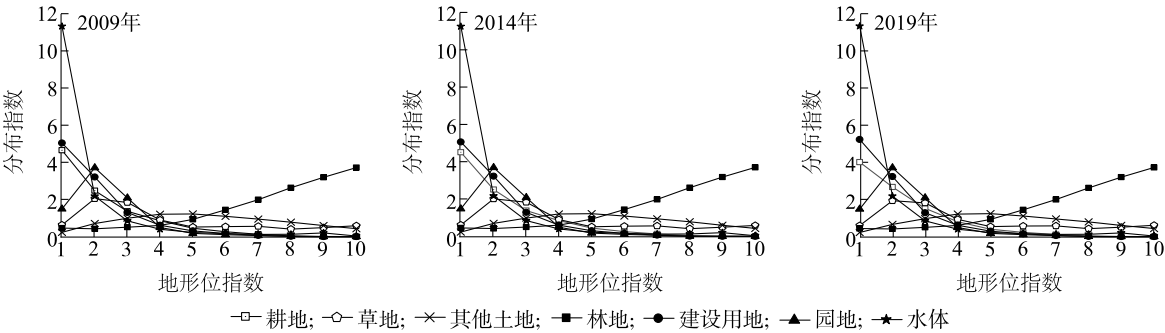


图 2 各景观类型在地形梯度上的分布指数  
Fig.2 Distribution index of each landscape type on topographic gradient

2.2 景观格局时空变化的地形梯度效应

2.2.1 景观格局变化图谱 景观格局变化图谱可深入剖析连续时间序列内景观类型的动态变化过程,明确地类转换的先后次序,从侧面反映人类活动的作用结果及程度。2009–2019 年 2 个等时间间隔内,耕地、建设用地均以转入为主,其余土地利用类型以转出为主。基于土地利用转移矩阵(表 2、表 3),对景观格局图谱进行分析。在 ArcGIS10.2 中进行空间叠加处理,得到阜平县连续 2 个时间间隔内的土地景观格局演变轨迹(图 3)。在景观类型图谱变化模式中,稳定型面积占比达到 98.489%,其余类型面积占比极小(表 4)。稳定型中最大变化图谱类型与其他土地-其他土地-其他土地,其次为建设用地-建设用地-建设用地。其他土地为研究区内的主导景观类型,占据重要地位。阜平县境内存在大量裸地,占其他土地景观类型的绝大部分,未来

应该进一步合理开发利用。前期变化型中,有其他土地-耕地-耕地、草地-建设用地-建设用地、耕地-建设用地-建设用地、其他土地-建设用地-建设用地,其中其他土地-耕地-耕地占比 57.73%,说明在该时段内阜平县的耕地需求量增加。后期变化型中,以其他土地-其他土地-耕地和草地-草地-耕地为主,其中,其他土地-其他土地-耕地所占该类型比重较大,达 57.42%,凸显了耕地的重要战略地位,进一步体现了粮食安全的重要性,阜平县其他土地仍有较大利用空间。反复变化型中主要以水体-建设用地-水体为主,占比 95.68%,水源保护对区域的可持续发展起着重要的作用,反映出当地政府管控建设用地无序随意扩增政策的推进。持续变化型面积占比仅 0.001%,主要由耕地-其他土地-建设用地和林地-其他土地-建设用地构成。

表 2 2009–2014 年土地利用转移矩阵

Table 2 Land use transfer matrix from 2009 to 2014

2009 年 土地利用类型	2014 土地利用类型							净转入	净转出	净变化
	草地	耕地	建设用地	林地	其他土地	水体	园地			
草地	190.15	0.53	1.00	0	0.07	0	0	0.01	1.60	-1.58
耕地	0	169.26	0.79	0	0.37	0	0	5.32	1.17	4.15
建设用地	0.01	0.01	62.20	0.03	0	0	0	2.79	0.05	2.73
林地	0	0	0.22	465.73	0.18	0.01	0	0.03	0.42	-0.39
其他土地	0	4.78	0.68	0	1 515.41	0	0	0.71	5.46	-4.75
水体	0	0	0.09	0	0.06	59.37	0	0.02	0.15	-0.13
园地	0	0	0.01	0	0.02	0	23.02	0	0.03	-0.03

表中数值单位为 km<sup>2</sup>。



表 3 2014-2019 年土地利用转移矩阵  
Table 3 2014-2019 Land Use Transfer Matrix

2014 年 土地利用类型	2019 土地利用类型							净转入	净转出	净变化
	草地	耕地	建设用地	林地	其他土地	水体	园地			
草地	182.92	6.70	0.45	0	0.10	0	0	0	7.24	-7.24
耕地	0	172.04	1.85	0	0.69	0	0	23.54	2.54	21.01
建设用地	0	0	64.95	0.03	0	0.04	0	4.83	0.04	4.79
林地	0	0	0.53	465.07	0.15	0	0	0	0.69	-0.69
其他土地	0	16.85	1.83	0	1 497.45	0	0	1.00	18.68	-17.68
水体	0	0	0.15	0	0.04	59.20	0	0.04	0.19	-0.15
园地	0	0	0.01	0	0.02	0	22.99	0	0.03	-0.03

表中数值单位为 km<sup>2</sup>。

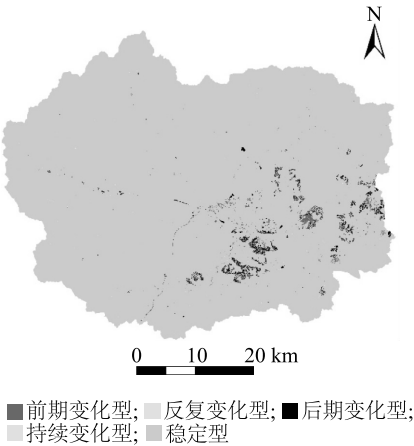


图 3 景观类型变化图谱分布图  
Fig.3 Distribution map of landscape type changeatlas

表 4 景观类型变化图谱统计表  
Table 4 Statistical table of landscape type change atlas

变化模式	面积占比 (%)	主要变化图谱类型	面积 (km <sup>2</sup> )
稳定型	98.489	其他土地-其他土地-其他土地	1 496.765
		林地-林地-林地	465.041
前期变化型	0.332	其他土地-耕地-耕地	4.774
		草地-建设用地-建设用地	0.995
		耕地-建设用地-建设用地	0.789
		其他土地-建设用地-建设用地	0.682
后期型	1.176	其他土地-其他土地-耕地	16.845
		草地-草地-耕地	6.699
反复变化型	0.002	水体-建设用地-水体	0.041
持续变化型	0.001	耕地-其他土地-建设用地	0.018
		林地-其他土地-建设用地	0.006

2.2.2 景观格局信息图谱的地形梯度 将景观类型变化图谱与地形位指数进行空间叠加处理,景观格局信息图谱的地形梯度效应如图 4 所示。稳定型变化图谱对于地形等级高的地区具有较好的适应性,优势区间为4~10 级区,其分布指数在地形区间内始终保持相对稳定。低地形梯度区间内,前期、后期变化型图谱分布优势明显。反复变化型随地形位指数增加呈现急速下降的趋势,人类活动主要集中在地势平坦,地形起伏小的 1 级区,优势度明显。持续变化型随地形位增加呈减小趋势,尤其在1~2 级地形梯度间呈现急速下降状态,优势分布区间在1~2 级区。

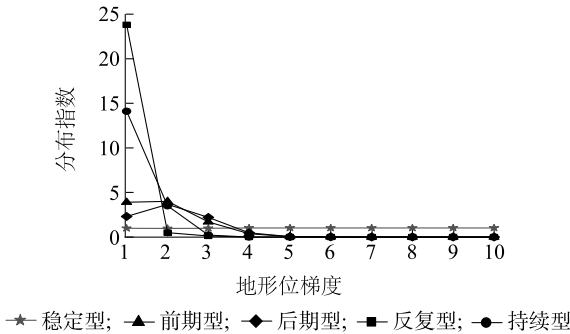


图 4 各类型图谱在地形梯度上的分布指数  
Fig.4 The distribution index of each type of map on the topographic gradient

2.3 景观格局的地形梯度效应

借助 Fragstats4.4 软件完成对阜平全县景观格局指数的测算,由图 5 可知,时间序列上,景观格局指数最终都保持稳定不变的状态。斑块密度( PD) 随时间推移保持小幅上升的趋势,最大斑块指数

(*LPI*) 随时间推移保持小幅下降状态,景观形状指数(*LSI*)随时间推移保持小幅上升的趋势,蔓延度(*CONTAG*)随时间推移保持下降状态,边缘密度(*ED*)随时间推移保持上升趋势,香农多样性指数(*SHDI*)总体保持相对稳定且呈微幅上涨的趋势。

空间序列上,*PD* 值在 1~7 级地形位区段呈现下降状态,7~8 级地形位区段保持相对稳定,8~10 级地形位区段呈现上升趋势。*PD* 值在地形梯度内变化跨度较大,景观格局破碎化现象集中发生在低、高等级地形位区域,这些地区景观破碎度较高,低等级地形区间主要是受到人类活动的强烈干扰所致,高等级地形区间主要受复杂地貌的影响。*LPI* 值在 1~2 级地形区急剧下降,在 2~7 级地形区保持相对稳定,在 7~10 级地形区呈现增长的趋势,表明优势景观主要分布在自然质量较好的低等级地形区和人类活动破坏少、保持原始自然风貌的高等级地形区。*LSI* 值在 1~4 级地形区保持上升趋势,在 4~10 级地形区呈现下降状态,峰值出现在第 4 级地形区上,表

明景观形状指数高的区域分布在海拔低、坡度较小的低和中低等级地形区。中高和高等级地形区的景观形状指数较小,表明在该地区分布形状较为规则,集中连片。*CONTAG* 值随地形位梯度的升高呈现下降-上升-相对稳定-上升-下降的趋势,表明随地形梯度的升高,景观格局的完整性越高。*ED* 值在 1~2 级地形区处于上升状态,2~10 级地形区处于下降状态,且 2~5 级地形区下降速度明显大于 5~10 级地形区,随时间推移,各时点 *ED* 峰值均出现在 1 级地形区上,反映出低和中低地形梯度区域的景观类型易受到人类活动的影响,被分割的程度高,布局较为分散。*SHDI* 值的高低反映其景观异质性,其值越高,表明各景观类型在景观水平上分布越均衡。*SHDI* 值随着地形位指数的增加呈现下降-上升-下降的趋势,景观类型表现更为多样化,1~2 级地形区下降缓慢,2~5 级地形区急速下降,5~7 级地形区缓慢上升,7~10 级地形区稳步下降。表明景观格局受地形因子和人类活动的双重影响。

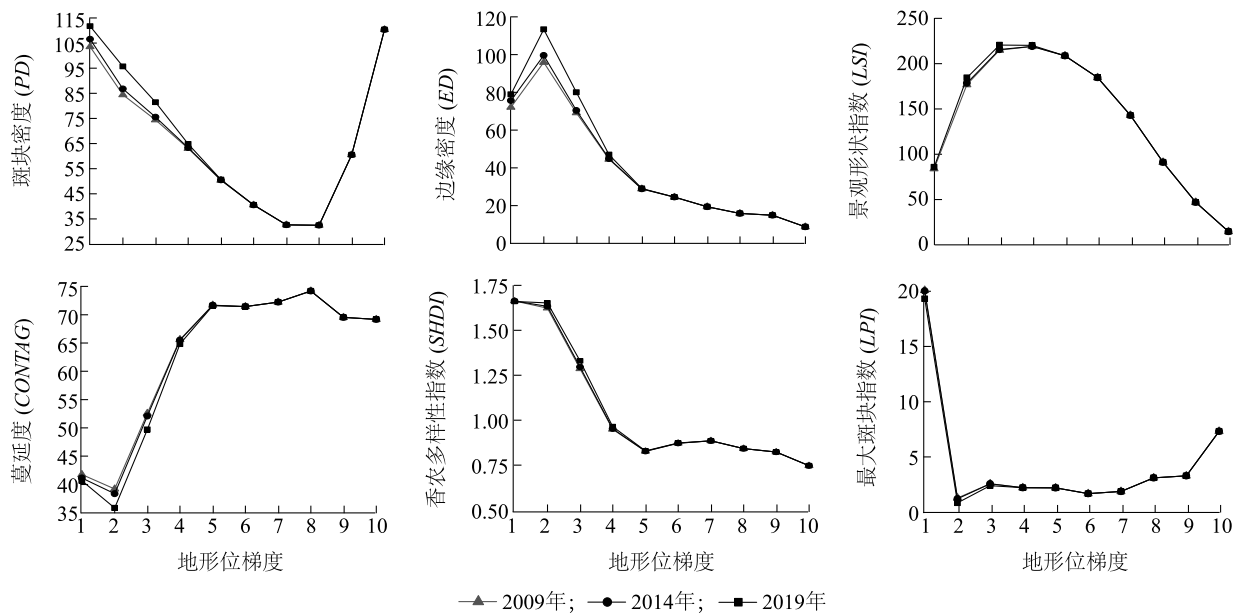


图 5 景观格局指数在地形梯度上的变化图

Fig.5 Changes of landscape pattern index on terrain gradient

## 2.4 热环境分布的地形梯度效应

以夏季 7 月为例,运用反演手段,得到阜平县 2009 年 7 月、2014 年 7 月、2019 年 7 月全域地表温度分布状况(图 6),并与地形位指数分级区间进行空间叠置,得到地表温度在不同等级地形区间上的空间分布情况。剔除 3 期地表温度反演结果的

0.01% 的最高和最低异常值,经空间分析计算,得到各级地形区地表温度的平均值(表 5)。时间尺度上,夏季 1~7 级地形区的平均地表温度随时间的推移均呈现先上升后下降的趋势;8~10 级地形区的平均地表温度呈现上升态势。生产活动中产生的气体排放量,在人类活动较为频繁的低、中低、中高等级

地形,2014 年后产生的热环境效应较 2014 年前逐渐减弱。空间尺度上,2009 年夏季地表温度平均值随地形梯度的提升呈现下降-上升-下降的走势,临界区间出现在 2 级地形区;2014 年、2019 年夏季地表温度平均值均随地形梯度的提升呈现上升-下降的走势,临界区间也出现在 2 级地形区。平均地表温度的分布状况在一定程度反映了地形因子和人类活动对地表温度的影响程度。

2.5 景观格局与地表温度相关性的地形梯度效应

运用 SPSS 26 软件计算研究期内各梯度地形内地表温度的平均值和景观格局指数的相关性系数。结果(表 6)显示,斑块密度(PD)和最大斑块指数(LPI)与地表温度的相关性较低。景观形状指数(LSI)与地表温度的相关性随时间推移呈现先上升后下降的走势,2009 年和 2019 年在 0.05 的置信水

平上呈现显著正相关性,2014 年在 0.01 的置信水平上呈现极显著正相关性。表明景观类型不规则性越高,热环境效应就越显著。蔓延度(CONTAG)与地表温度的相关性保持上升状态,2009 年和 2014 年在 0.05 的置信水平上呈现显著负相关性,2019 年在 0.01 的置信水平上呈现极显著负相关性,反映景观格局的完整度越高,其对应的地表温度越低。边缘密度(ED)与地表温度的相关性呈现随时间推移先上升后稳定的趋势,在 0.01 的置信水平上呈现极显著正相关性,表明景观格局布局越分散,其对应的地表温度值越高。香农多样性指数(SHDI)与地表温度的相关性随时间推移不断加强,2009、2014、2019 年均在 0.01 的置信水平上呈现极显著正相关性。表明景观组合类型越丰富,整体上其对应的地表温度越高。

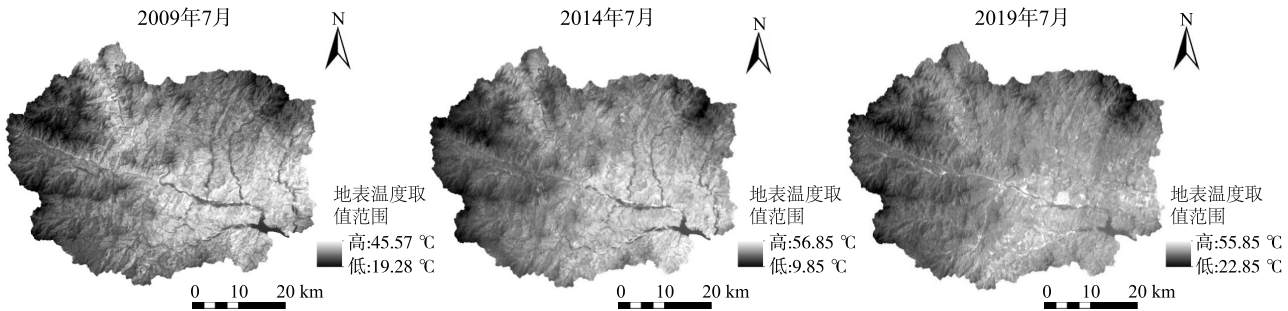


图 6 2009–2019 年 7 月阜平县全域地表温度分布图  
Fig.6 The global surface temperature distribution from July 2009 to July 2019 in Fuping County

表 5 不同梯度地形平均地表温度变化

Table 5 The change of the average surface temperature on the terrain gradient

2009 年		2014 年		2019 年	
地形位等级分区	平均地表温度(℃)	地形位等级分区	平均地表温度(℃)	地形位等级分区	平均地表温度(℃)
1 级地形区	34.91	1 级地形区	40.09	1 级地形区	35.65
2 级地形区	32.92	2 级地形区	42.07	2 级地形区	35.77
3 级地形区	34.26	3 级地形区	40.76	3 级地形区	34.97
4 级地形区	32.70	4 级地形区	38.32	4 级地形区	33.80
5 级地形区	31.22	5 级地形区	36.09	5 级地形区	32.79
6 级地形区	29.64	6 级地形区	33.76	6 级地形区	31.69
7 级地形区	27.64	7 级地形区	31.00	7 级地形区	30.38
8 级地形区	26.01	8 级地形区	28.13	8 级地形区	29.00
9 级地形区	25.01	9 级地形区	26.23	9 级地形区	28.40
10 级地形区	24.75	10 级地形区	25.57	10 级地形区	27.97

表 6 地表温度与景观格局指数的相关系数

Table 6 Correlation coefficient between land surface temperature and landscape pattern index

景观格局指数	地表温度		
	2009 年	2014 年	2019 年
<i>PD</i>	0.272	0.256	0.381
<i>LPI</i>	0.273	0.134	0.204
<i>LSI</i>	0.675 *	0.890 **	0.674 *
<i>CONTAG</i>	-0.732 *	-0.761 *	-0.809 **
<i>ED</i>	0.854 **	0.901 **	0.901 **
<i>SHDI</i>	0.768 **	0.791 **	0.840 **

*PD*: 斑块密度; *LPI*: 最大斑块指数; *LSI*: 景观形状指数; *CONTAG*: 蔓延度; *ED*: 边缘密度; *SHDI*: 香农多样性指数。\*、\*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 的置信度水平上显著相关。

### 3 结论与讨论

本研究以阜平县 2009 年 7 月、2014 年 7 月、2019 年 7 月 3 期遥感、DEM 影像为基础,借助地形分析、信息图谱分析、景观格局指数和地表温度反演等方法,探究地形因子对阜平县景观格局与热环境效应时空演变的影响程度,对其进行综合分析。结果表明:(1)地形因子对各景观类型优势分布区间产生较大的影响,呈现出明显的时空分异特征。研究区内耕地、草地、建设用地、园地、水体主要集中分布在自然环境条件良好的 1~3 级或 1~2 级的低地形梯度区域,为人类生存提供生活空间以及从事各项生产建设活动的生产空间。其他土地优势区分布在 4~6 级中低地形梯度区域,林地优势区分布在 6~10 级中高地形梯度区域,林地对各种地形具有较强的适应性,林地优势景观类型,分布范围逐渐向高地形位指数区域拓展,且地形位指数越高区域的分布指数越大。(2)景观类型的演变上,稳定型占绝对主导分布,其主要分布于中低、中高和高等级地形梯度区域。其余演变类型全部分布于低等级地形梯度区域。稳定型变化图谱中主要类型以其他土地-其他土地-其他土地以及林地-林地-林地为主。(3)景观格局水平上,低、高等级地形位指数区域的景观格局破碎化现象显著,优势景观也主要分布其中。随地形梯度的升高,景观格局的完整性越高。低和中低地形梯度区域的景观类型受到人类活动的影响,被分割的程度高,布局较为分散。中高和高等级地形区域的景观类型分布形状较为规则,集中连片。在低、中低地形梯度内景观类型表现更为多样化。

(4)地表温度在时间序列上呈现先上升后下降的趋势,在空间序列上随地形位指数的升高呈现阶梯状分布,且随地形位指数的升高,地表温度呈现下降趋势。地表温度与景观格局存在一定空间相关性,在空间分布上地表温度与 *PD*、*LPI* 相关性较低。地表温度 2009 年和 2019 年与 *LSI* 在 0.05 的置信水平上呈现显著正相关性,2014 年在 0.01 的置信水平上呈现极显著正相关性;地表温度 2009 年和 2014 年与 *CONTAG* 在 0.05 的置信水平上呈现显著负相关性,2019 年在 0.01 的置信水平上呈现极显著负相关性。地表温度与 *ED* 在 2009、2014、2019 年在 0.01 的置信水平上均呈现极显著正相关性。香农多样性指数 (*SHDI*) 与地表温度 2009、2014、2019 年均在 0.01 的置信水平上呈现极显著正相关性。

景观格局的形成和演变受到人类活动和地形因子的共同作用<sup>[28-30]</sup>,而热环境效应也深受景观格局变化的影响。阜平县地处太行山区,土地利用方式受地形因子的制约,2020 年 2 月刚刚“脱贫摘帽”,因此未来要夯实脱贫成果,进一步扩大发展空间和加大发展力度。要利用好地形梯度跨度大这一地理特性,遵循景观生态学原理和可持续发展原则,因地制宜制定发展战略。土地利用结构的形成是一个长期的过程,转变并不能依靠一朝一夕,在掌握生态发展要义的前提下,要深入挖掘土地潜力,有针对性地开展、配置土地资源,摸清资源禀赋,在保障资源环境承载力和稳定生态的前提下,充分利用好当地的“红色资源”和“绿色资源”培育特色产业,进一步带动农业、林果业和旅游业的发展,进而实现乡村振兴。

### 参考文献:

- [1] MOONEY H A, DURAIAPPAH A, LARIGAUDERIE A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs[J]. PNAS, 2013, 110(Suppl 1): 3665-3672.
- [2] STERLING S M, DUCHARNE A, POLCHER J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle[J]. Nature Climate Change, 2012, 3(4): 385-390.
- [3] HERRICK J E, URAMA K C, KARL J W. et al. The global land potential knowledge system (land PKS): Supporting evidence-based, site-specific land use and management through cloud computing, mobile applications, and crowdsourcing[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 68(1): 5-12.
- [4] 钟德燕,常庆瑞,宋丰骥. 黄土丘陵沟壑区土地利用空间分布与地形因子关系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6):



- 102-107.
- [5] 梁发超,刘黎明.基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析:以湖南省浏阳市为例[J].资源科学,2010,32(11):2138-2144.
- [6] 臧玉珠,刘彦随,杨园园.山区县土地利用格局变化及其地形梯度效应——以井冈山市为例[J].自然资源学报,2019,34(7):1391-1404.
- [7] 李升发,董玉祥.广州市土地利用垂直分层模式及其演变过程[J].自然资源学报,2013,28(6):1019-1029.
- [8] 庄逐舟,黄秋昊,石云.黄土丘陵区土地利用变化与地形梯度关系研究[J].水土保持研究,2016,23(4):331-337.
- [9] 路昌,雷国平,周浩,等.挠力河流域土地利用变化及地形梯度效应分析[J].中国土地科学,2017,31(8):53-60,97.
- [10] 李明珍,李阳兵,冉彩虹.土地利用转型背景下的乡村景观格局演变响应——基于草堂溪流域的样带分析[J].自然资源学报,2020,35(9):2283-2298.
- [11] 梁国付,韩艳,丁圣彦.伏牛山北坡森林景观变化的地形梯度特征分析[J].地理科学,2010,30(2):242-247.
- [12] 吴见,王帅帅,谭靖.基于安徽省土地利用变化的地形梯度效应分析[J].长江流域资源与环境,2016,25(2):239-248.
- [13] 薄广涛,牛志君,郭义强,等.冀西北间山盆地土地利用变化地形梯度效应——以河北省怀来县为例[J].水土保持研究,2017,24(1):226-231.
- [14] 陈雅如,肖文发,滕明君,等.三峡库区景观格局粒度效应及其对土地利用变化过程的响应[J].自然资源学报,2018,33(4):588-599.
- [15] 冀亚哲,张小林,吴江国,等.多空间粒度下镇江市土地利用景观格局差异[J].中国土地科学,2013,27(5):54-62,1.
- [16] 黄丽明,陈健飞.城市景观格局时空特征的热环境效应研究——以广州市花都区为例[J].自然资源学报,2015,30(3):480-490.
- [17] 沈中健,曾坚,任兰红.2002-2017年厦门市景观格局与热环境的时空耦合关系[J].中国园林,2021,37(3):100-105.
- [18] 熊鹰,章芳.基于多源数据的长沙市人居热环境效应及其影响因素分析[J].地理学报,2020,75(11):2443-2458.
- [19] 孙丕苓,许月卿,王数.环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J].农业工程学报,2014,30(14):277-288.
- [20] 陈铸,黄雅冰,朱志鹏,等.基于地形梯度特征的福州市景观格局演变[J].应用生态学报,2018,29(12):4135-4144.
- [21] 哈凯,丁庆龙,门明新,等.山地丘陵区土地利用分布及其与地形因子关系:以河北省怀来县为例[J].地理研究,2015,34(5):909-921.
- [22] 张文慧,吕晓,史洋洋,等.黄河流域土地利用转型图谱特征[J].中国土地科学,2020,34(8):80-88.
- [23] 郭洪峰,许月卿,吴艳芳.基于地形梯度的土地利用格局与时空变化分析——以北京市平谷区为例[J].经济地理,2013,33(1):160-166,186.
- [24] 覃志豪,LI W J,ZHANG M H,等.单窗算法的大气参数估计方法[J].国土资源遥感,2003(2):37-43.
- [25] 杨斌,王占岐,姚小微,等.鄂西北山区土地利用的地形梯度效应与空间结构特征[J].长江流域资源与环境,2019,28(2):313-321.
- [26] 陈奕竹,肖轶,孙思琦,等.基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(4):623-631.
- [27] 简萍,李阳兵,王权.基于地形梯度的典型峰丛洼地区土地利用空间分布格局分析[J].长江流域资源与环境,2020,29(5):1128-1139.
- [28] 王雪然,潘佩佩,王晓旭,等.基于GeoSOS-FLUS模型的河北省土地利用景观格局模拟[J].江苏农业学报,2021,37(3):667-675.
- [29] 蒋姣,赵思远,陈士亮,等.快速城市化地区景观格局演变及生态环境承载力评价——以南京市为例[J].江苏农业科学,2021,49(7):231-237.
- [30] 王晶晶,孙玲,王志明,等.基于GF-2影像的江苏耕地破碎地区景观格局空间粒度效应分析[J].江苏农业学报,2020,36(3):606-612.

(责任编辑:张震林)