



## 基于景观尺度的黄土丘陵区植被覆盖时空变化 ——以山西省晋城市为例

曹 会<sup>1</sup>, 刘立文<sup>2</sup>, 李雨珂<sup>1</sup>, 温秋园<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157021;

2. 山西农业大学 资源环境学院, 山西 太原 030031

**摘 要:** 植被覆盖是评价区域生态环境状态的主要影响因子。基于景观生态学的分析方法, 以 2006—2015 年的 MOD13Q1 遥感数据为基础, 获取植被覆盖指数, 对山西省晋城市植被覆盖时空变化进行研究。结果表明: 研究区植被覆盖呈现增加趋势, 主要增加的类型为高植被覆盖。植被覆盖指数分布与高程和坡度正相关, 即高程越高、坡度越大的地区植被覆盖指数越高。在景观尺度上, 植被覆盖的类型呈现出一种集中趋势, 即景观内部异质性和多样性降低, 高植被覆盖斑块对景观的支配程度加强且逐渐处于优势地位。在斑块类型尺度上, 以高植被覆盖为主, 且斑块所占比例呈增加趋势。此外高植被覆盖景观破碎程度减小, 复杂度降低, 形状逐渐规则。

**关键词:** 遥感; MOD13Q1 数据; 植被覆盖; 景观格局; 黄土丘陵区; 山西省

## SPATIOTEMPORAL VARIATION OF VEGETATION COVERAGE ON LANDSCAPE SCALE IN HILLY LOESS REGION: A Case Study of Jincheng City in Shanxi Province

CAO Hui<sup>1</sup>, LIU Li-wen<sup>2</sup>, LI Yu-ke<sup>1</sup>, WEN Qiu-yuan<sup>1</sup>

1. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157021, Heilongjiang Province, China;

2. School of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China

**Abstract:** Vegetation coverage is the main factor affecting the evaluation of regional eco-environment. Through the landscape ecological analysis method, the vegetation coverage index (VCI) is acquired to study the spatiotemporal variation of vegetation coverage in Jincheng City of Shanxi Province based on the MOD13Q1 remote sensing data during 2006–2015. The results indicate that the vegetation coverage show an increasing trend, dominated by high coverage vegetation. The distribution of VCI is positively correlated with elevation and slope, i.e., the higher elevation and the steeper slope, the greater VCI. The vegetation coverage types show a concentrated tendency at landscape scale, while the internal heterogeneity and diversity of landscape are reduced, the high vegetation coverage patch becomes more dominant and gradually superior. At patch scale, high coverage vegetation is dominant, with increasing proportion of patch. Furthermore, the high coverage vegetation is characterized by reduced landscape fragmentation and complexity, and gradually regular shape.

**Key words:** remote sensing; MOD13Q1 data; vegetation coverage; landscape pattern; hilly loess region; Shanxi Province

收稿日期: 2021-02-23; 修回日期: 2021-04-24. 编辑: 黄欣.

基金项目: 中国地质调查局项目“东北边境珲春-虎头地区综合地质遥感调查”(DD20208015).

作者简介: 曹会(1987—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事遥感解译工作, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 45 号, E-mail//22234540@qq.com

## 0 前言

在陆地生态系统中植被居于主体地位并且影响着全球环境的变化,通过分析植被局部的动态变化可以为改善区域生态、保护物种多样性和可持续发展提供科学指导,因此植被覆盖的变化分析成为当前生态学研究的重点<sup>[1-2]</sup>.气候、地表植被的变化监测研究中,植被覆盖是非常重要的指标及参数<sup>[3-5]</sup>.而景观格局信息,可以揭示不同类型斑块的空间布局 and 结构特征,通过研究植被的景观格局动态变化可以反映植被在人为因素和环境因素共同作用下的变化特征,对进一步评估地表植被以及改善区域生态环境具有重要意义<sup>[6-9]</sup>.

目前的研究主要是通过景观组分的类型、数目以及空间的分布与配置从表面上没有规律的景观中发掘潜在的有意义的生态变化特征,进而用于指导生态环境建设<sup>[10-12]</sup>.如苏艳琴等对福建省三明市沙县进行研究,利用线性光谱混合模型获取植被覆盖度并分析其变化及景观格局<sup>[13]</sup>;王刚等利用地表温度、植被覆盖度和归一化湿度指数等信息,结合生态学方法研究了广州市不同植被对地表温度的调节作用<sup>[14]</sup>;黄婷等利用景观格局分析与逐步回归的统计方法,研究2005—2010年锡林郭勒盟在流域尺度上的景观格局变化对土壤保持水平的影响<sup>[15]</sup>;徐凯健等分析了不同时期长汀县植被覆盖及其空间格局的时空变化,研究人为影响与政策规划对植被覆盖及景观格局的影响<sup>[16]</sup>;王静等定量研究了2000—2010年京津冀地区植被覆盖及其景观格局的动态变化,评估了城市化对植被的干扰过程和生态环境的影响<sup>[17]</sup>.

晋城市地处黄土丘陵区东南边缘,众多复杂地形地貌相互交织,导致该区植被覆盖状况差异较大,水土流失严重.基于此,本研究使用FRAGSTATS运算软件<sup>[18]</sup>,通过利用2006—2015年MODIS的MOD13Q1数据,得到晋城市植被覆盖指数,并将其划分为5个等级,然后通过GIS分析的方法研究植被覆盖在不同高程、坡度和地理单元下的变化以及分析不同植被覆盖等级下斑块的景观格局变化,根据该地区不同景观指数的年际变化情况,研究晋城市植被覆盖时空变化的特点和规律,从而为晋城市生态环境建设提供科学依据,达到生态环境的可持续发展.

## 1 研究区概况

晋城市位于山西省东南部(图1),山西与河南交界处,地理坐标范围:北纬 $35^{\circ}11'$ — $36^{\circ}04'$ ,东经 $111^{\circ}55'$ — $113^{\circ}07'$ <sup>[19]</sup>.全市处于晋城盆地中,被太行、王屋、中条山所环绕,从北到南地势逐渐降低,构成一个簸箕状,沁河、丹河交错其中,主要呈现出河谷平川、丘陵和中低山3种地貌,其中山地所占面积最大,河谷平川和丘陵次之.平原区地势开阔,植被资源丰富,是工农业生产的重要基地.晋城市交通便利,太焦、侯月铁路纵穿全区,公路四通八达,交织纵横<sup>[20]</sup>.

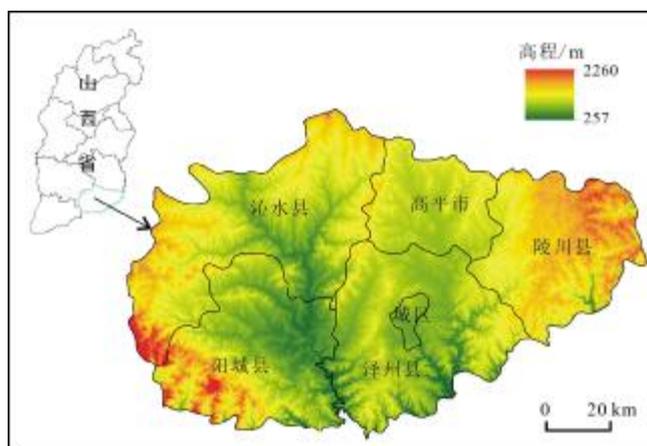


图1 研究区地貌及位置图

Fig. 1 Topography and location map of the study area

晋城市的气候特征是暖温带半湿润大陆性季风气候,春暖秋凉,冬冷夏热,降雨主要集中在夏季.年平均日照时数2563h,年平均气温 $10.2\sim 12^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量626~750mm.较为湿润的气候和复杂的地貌,导致晋城市植被较为丰富,其中林木覆盖率达到33.6%,以占全市林地面积70%左右的天然次生林为主.另外,晋城市拥有一块面积超过 $700\text{hm}^2$ 的原始森林,是山西省唯一的原始森林.处于晋城市域的 $25\times 10^4\text{hm}^2$ 以上的天然牧草地,占土地面积近30%,自然植被丰富.

## 2 数据和数据处理

### 2.1 数据源

卫星遥感数据下载于NASA所提供的共享数据,数据分类为MOD13Q1产品,本研究所使用的是2006—2015年晋城市归一化植被指数(NDVI)数据,空间及时间分辨率分别为250m和16d.该数据已经过辐射校正、大气校正、云体掩膜等处理,可以更好地

用于科学研究. 用于本次研究的山西省 DEM 数据取自国家地理空间数据云(www.gscloud.cn), 数据分辨率为 30 m, 依据此数据可计算出坡度等特征.

## 2.2 植被覆盖分级

按照《生态环境状况评价技术规范(HJ 192—2015)》, 获取植被覆盖指数(C), 并结合前人研究成果<sup>[21-23]</sup>, 根据自然间断分级法和晋城市地区植被覆盖特征规律, 将植被覆盖等级分为 5 个级别: 低植被覆盖( $C \leq 0.6$ )、较低植被覆盖(0.6~0.7)、中度植被覆盖(0.7~0.8)、较高植被覆盖(0.8~0.9)及高植被覆盖( $C \geq 0.9$ )(图 2).

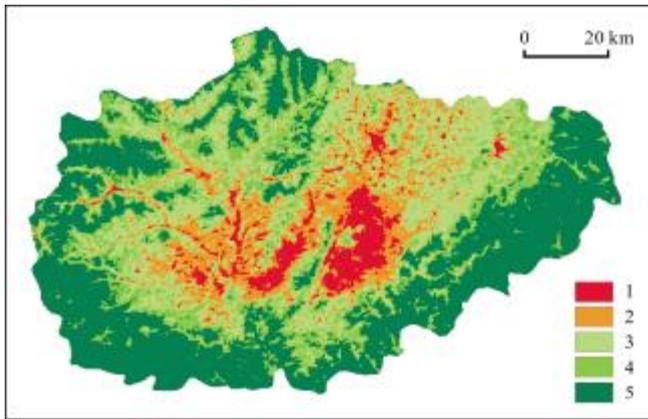


图 2 2006—2015 年晋城市平均植被覆盖分级图

Fig. 2 Classification map of average vegetation coverage in Jincheng City during 2006-2015

1—低植被覆盖 (low vegetation coverage); 2—较低植被覆盖 (relatively low vegetation coverage); 3—中度植被覆盖 (moderate vegetation coverage); 4—较高植被覆盖 (relatively high vegetation coverage); 5—高植被覆盖 (high vegetation coverage)

## 2.3 景观指数选取和计算

景观格局分析是一种研究景观结构特征和空间配置的方法, 是景观生态学研究经常使用的方法<sup>[24]</sup>. 在参照前人研究的基础上<sup>[25-27]</sup>, 结合晋城市植被覆盖特点, 选取斑块类型尺度中斑块类型面积(CA)、景观级别中斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、散布与并列指数(IJI)、景观形状指数(LSI)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀性指数(SHEI)等作为评价指标. 运用 FRAGSTATS3.3 软件进行景观指数计算并分析景观的空间分布特征和变化特征.

## 3 结果与分析

### 3.1 植被覆盖整体面积变化

景观面积作为分析景观格局变化的主要参数, 是

计算景观中其他指数的基础. 景观面积对反映不同类型斑块的生物数量、生物种类、储量和养分的差异具有重要的意义. 通过分析图 3 内数据可知, 2006—2015 年, 高植被覆盖、较高植被覆盖的景观面积有所增加, 低植被覆盖、较低植被覆盖和中度植被覆盖景观面积则在减少. 其中, 高植被覆盖景观面积增加最为明显, 面积增加 116.07 km<sup>2</sup>, 增长幅度达 12.24%, 增速为 13.24%/10 a; 中度植被覆盖景观面积减少最多, 达 86.97 km<sup>2</sup>, 减少幅度达 9.17%, 减速为 8.50%/10 a; 较高植被覆盖景观面积增加 27.87 km<sup>2</sup>, 增加幅度为 2.93%, 增速 4.60%/10 a; 低植被覆盖景观面积和较低植被覆盖景观面积分别减少 3.6 km<sup>2</sup> 和 53.40 km<sup>2</sup>, 减少幅度分别为 0.38% 和 5.63%, 减速分别为 2.51%/10 a 和 6.8%/10 a. 在 2009 年前后, 低植被覆盖、中度植被覆盖面积变化剧烈, 2009 年后不同等级植被覆盖的景观面积出现反向变化, 与 2009 年的气候有直接关系. 根据张红英等人的研究<sup>[28]</sup>, 2009 年的温度和降水量为 2006—2015 年最低值, 不利于植被生长, 从而导致 2009 年低植被覆盖和较低植被覆盖面积增多而其他等级植被覆盖面积减少.

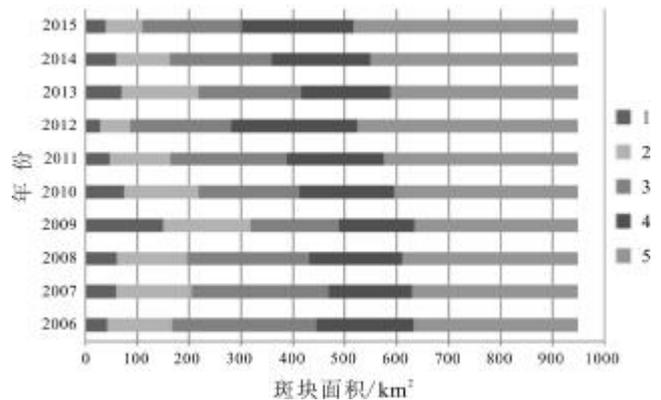


图 3 2006—2015 年晋城市不同植被覆盖等级面积及比例变化

Fig. 3 Changes of area and proportion by vegetation coverage levels in Jincheng City during 2006-2015

1—低植被覆盖 (low vegetation coverage); 2—较低植被覆盖 (relatively low vegetation coverage); 3—中度植被覆盖 (moderate vegetation coverage); 4—较高植被覆盖 (relatively high vegetation coverage); 5—高植被覆盖 (high vegetation coverage)

## 3.2 植被覆盖的时空变化

### 3.2.1 不同高程下植被覆盖的变化

根据自然间断分级法结合研究区地形特征, 将研

究区高程分为5类: <600 m、600~1000 m、1000~1400 m、1400~1800 m、>1800 m, 分析研究区不同高程下植被覆盖指数的年际变化.

从表1中可以看出,晋城市2006—2015年不同高程下的植被覆盖指数均呈现出上升的趋势,当高程增加时,植被覆盖指数也随之增加而且高程越高稳定性越大.到2015年,高程小于600 m的植被覆盖指数达到0.82,相比于2006年增长8.31%;高程600~1000 m的植被覆盖指数达到0.81,相比于2006年增长6.17%;高程1000~1400 m的植被覆盖指数达到0.94,相比于2006年增长6.07%;高程1400~1800 m的植被覆盖指数达到1,相比于2006年增长2.15%.在2009年,各种高程下的植被覆盖指数都是最低点,主要是由于2009年晋城市降雨量偏低<sup>[29]</sup>,不利于作物生长.总体来说,该地区的植被覆盖在这10年间是增加的.

### 2.2.2 不同坡度下植被覆盖指数的变化

根据第二次全国土地调查耕地坡度分级体系将坡度划分为5类:0~2°、2~6°、6~15°、15~25°、>25°, 研究不同坡度下的植被覆盖指数的年际变化.

通过分析表2可知,晋城市2006—2015年不同坡度下的植被覆盖指数均呈现上升趋势,随着坡度的增加,植被覆盖指数也在升高,而且坡度越大稳定性越高<sup>[30]</sup>.到2015年,坡度0~2°的植被覆盖指数达到0.75,相比于2006年增长5.32%;坡度2~6°的植被覆盖指数达到0.77,相比于2006年增长5.49%;坡度6~15°的植被覆盖指数达到0.84,相比于2006年增长6.22%;坡度15~25°时植的植被覆盖指数达到0.92,相比于2006年增长6.34%;坡度大于25°的植被覆盖指数达到0.99,相比于2006年增长5.77%.在2009年时,不同坡度下的植被覆盖指数均为最小值,在2012年时,不同坡度下的植被覆盖指数均为最大值,这与每年的降水量有着密切的关系<sup>[29]</sup>.

### 3.2.3 不同地理单元下植被覆盖指数的变化

分析植被覆盖指数变化的另一个重要影响因子就是地理单元.通过对不同县域2006—2015年的植被覆盖指数进行统计,分析不同地理单元下晋城市的植被覆盖指数的年际变化(表3).其下属县域包含沁水县、高平市、陵川县、阳城县、泽州县和城区.

表1 2006—2015年晋城市不同高程植被覆盖指数变化

Table 1 Changes of vegetation coverage index by elevations in Jincheng City during 2006—2015

高程/m	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均值
<600	0.76	0.75	0.76	0.73	0.77	0.78	0.82	0.77	0.78	0.82	0.77
600~1000	0.76	0.75	0.76	0.71	0.76	0.78	0.82	0.76	0.78	0.81	0.77
1000~1400	0.89	0.89	0.90	0.88	0.90	0.91	0.94	0.90	0.93	0.94	0.91
1400~1800	0.98	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99
>1800	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表2 2006—2015年晋城市不同坡度植被覆盖指数变化

Table 2 Changes of vegetation coverage index by slope gradients in Jincheng City during 2006—2015

坡度/°	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均值
0~2	0.71	0.70	0.70	0.64	0.69	0.72	0.76	0.69	0.72	0.75	0.71
2~6	0.73	0.71	0.72	0.66	0.71	0.74	0.78	0.71	0.73	0.77	0.73
6~15	0.79	0.78	0.79	0.74	0.79	0.80	0.84	0.79	0.81	0.84	0.80
15~25	0.87	0.86	0.87	0.85	0.88	0.89	0.92	0.88	0.90	0.92	0.89
>25	0.94	0.94	0.95	0.94	0.96	0.96	0.98	0.95	0.97	0.99	0.96

表3 2006—2015年晋城市不同地理单元下植被覆盖指数变化

Table 3 Changes of vegetation coverage index by geographical units in Jincheng City during 2006–2015

地区	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
晋城市	0.82	0.82	0.83	0.79	0.83	0.84	0.88	0.83	0.85	0.87
城区	0.83	0.81	0.82	0.83	0.83	0.85	0.89	0.81	0.84	0.86
沁水县	0.85	0.84	0.85	0.81	0.85	0.88	0.89	0.86	0.88	0.90
高平市	0.74	0.72	0.72	0.65	0.68	0.73	0.78	0.70	0.73	0.78
陵川县	0.89	0.88	0.88	0.88	0.90	0.89	0.94	0.88	0.91	0.93
阳城县	0.83	0.84	0.85	0.79	0.87	0.86	0.89	0.86	0.88	0.89
泽州县	0.77	0.76	0.77	0.74	0.77	0.79	0.83	0.77	0.79	0.82

由表3可知,各县市的植被覆盖指数在2006—2015年均呈现增长趋势,晋城市整体植被覆盖指数增长6.07%。沁水县、高平市、陵川县、阳城县、城区和泽州县植被覆盖指数随时间呈现增长趋势,分别增长5.77%、4.44%、5.30%、7.34%、3.86%、6.61%。除陵川县和城区外,其他县域在2009年的植被覆盖指数均为最小值。在晋城市所有县域中陵川县整体植被覆盖指数最好,每年植被覆盖指数均达到0.85以上,高平市整体植被覆盖指数最差,每年的植被覆盖指数均在0.8以下。

### 3.3 植被覆盖景观尺度上的变化

斑块数量和斑块密度可以反映出景观的破碎程度,其值越大,破碎度越高,值越小,破碎度越低。从图4a、b中可以看出,2006—2015年晋城市区域的斑块数量和斑块密度呈现波浪式变化,总体为上升趋势,说明晋城市景观异质性增强,破碎度提高。在2013年斑块数量和斑块密度达到最大值,破碎化程度最为剧烈;在2010年斑块数量和斑块密度均为最小值,破碎化程度相对较小。

景观形状指数是衡量斑块形状复杂程度的重要指数,其取值范围是 $LSI \geq 0$ , LSI值越大,表明景观复杂度越高。由图4c可知,2006—2015年晋城市景观形状指数总体上出现降低趋势,相比于2006年,2015年LSI值降低了0.88,说明在研究期间晋城市景观复杂度减弱;在2013年时LSI达到最大值,研究区景观复杂度最高,2015年LSI为最小值,研究区景观复杂度最低;从折线图中可以看出,晋城市LSI值一直

处于不断波动变化中,表明晋城市植被覆盖受外界因素影响较大。

散布与并列指数用来反映不同覆盖等级植被的混合程度,其取值在0~100之间,当IJI值较小时说明某一斑块类型几乎不与其他类型相邻,混杂程度低,反之,混杂程度高。从图4d可以看出,除2006年和2015年外,晋城市IJI值都在50以上,植被混杂程度大,异质性较高。2006年后IJI值开始上升并趋于稳定,到2014年急剧下降并在2015年成为最小值点,说明研究区植被混杂程度先升高后降低,总体上呈现降低趋势。

SHEI即香农均匀性指数,取值在0~1之间。当SHEI值较小时,表明景观仅由少数斑块类型组成,斑块优势度高;SHEI接近1时表明各斑块类型均匀分布,斑块优势度低。如图4e所示,除2006年和2015年外,晋城市香农均匀性指数均在0.8以上,植被景观没有特别明显的优势类型,分布较为均匀。晋城市SHEI波动较频繁,在2015年SHEI值降低到最小值0.51,植被景观均匀度减少,说明高植被覆盖类型斑块逐渐处于优势地位,晋城市景观格局越来越由少数斑块类型所控制。

SHDI即香农多样性指数,其取值大于零,SHDI值越小,全部景观中所含的斑块类型越少,SHDI值越大,说明斑块类型数量越多,各种斑块类型在景观中呈现均衡式分布。从图4f中可以看出,SHDI总体为下降趋势,到2015年SHDI值降低到1.34,比2006年减少0.11,表明研究期间高植被覆盖类型斑块对景观的支

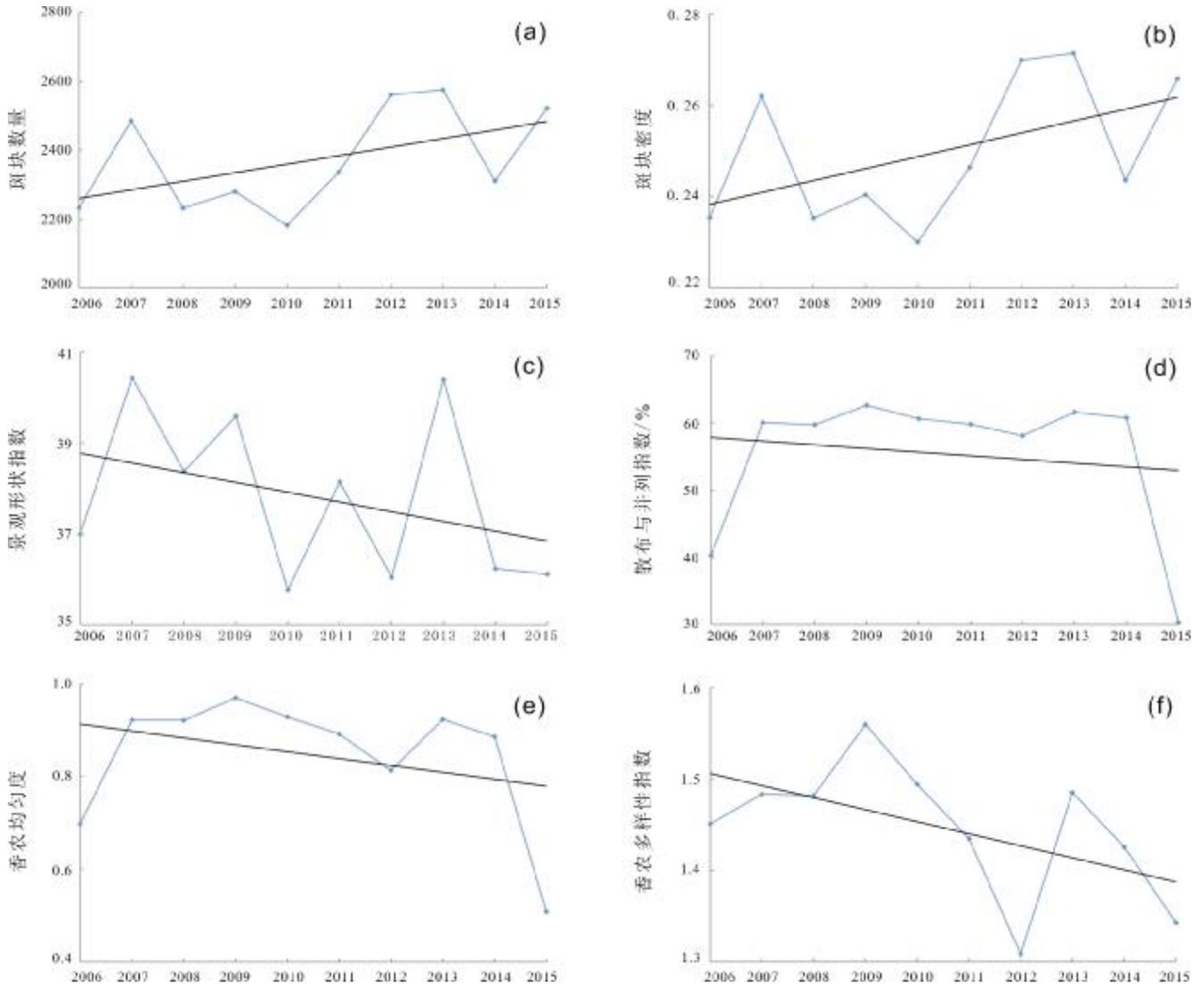


图 4 2006—2015 年晋城市景观指数变化图

Fig. 4 Changes of landscape index in Jincheng City during 2006–2015

a—斑块数量年际变化 (annual variation of patch number); b—斑块密度年际变化 (annual variation of patch density); c—景观形状指数年际变化 (annual variation of landscape shape index); d—散布与并列指数年际变化(annual variation of interspersion and juxtaposition index); e—香农均匀性年际变化(annual variation of Shannon evenness index); f—香农多样性年际变化(annual variation of Shannon diversity index)

配程度加强，景观多样性下降。其中 2006—2009 年 SHDI 值增加,2009—2012 年 SHDI 值降低，说明 2006—2009 年景观多样性在升高，斑块分布趋于稳定;2009—2012 年景观多样性急剧减少，景观多样性降低,2009 年是晋城市景观多样性变化的重要拐点。

### 3.4 不同等级植被覆盖指数斑块类型尺度的变化分析

#### (1)低植被覆盖

2006—2015 年低植被覆盖指数斑块数量较少,从 2006 年的 292 上升到 2015 年的 310,斑块破碎度较低但有略微提升,植被发生轻微退化(图 5)。低植被覆盖

景观形状指标均较小并且变化波动较小，说明低植被覆盖斑块边界简单，形状较为规则。最大斑块所占面积比例(LPI)较小,表明低植被覆盖在整个景观中的优势度低,其中 2009 年出现异常高值,这主要是因为当年晋城市降水量偏低，低植被覆盖优势度提高。从平均最近距离(MNN)和聚合度(AI)来看,低植被覆盖指数斑块之间相隔距离远，分布较离散且主要由连通度较好的大斑块组成。

#### (2)较低植被覆盖

2006—2015 年较低植被覆盖斑块数量多,呈现上

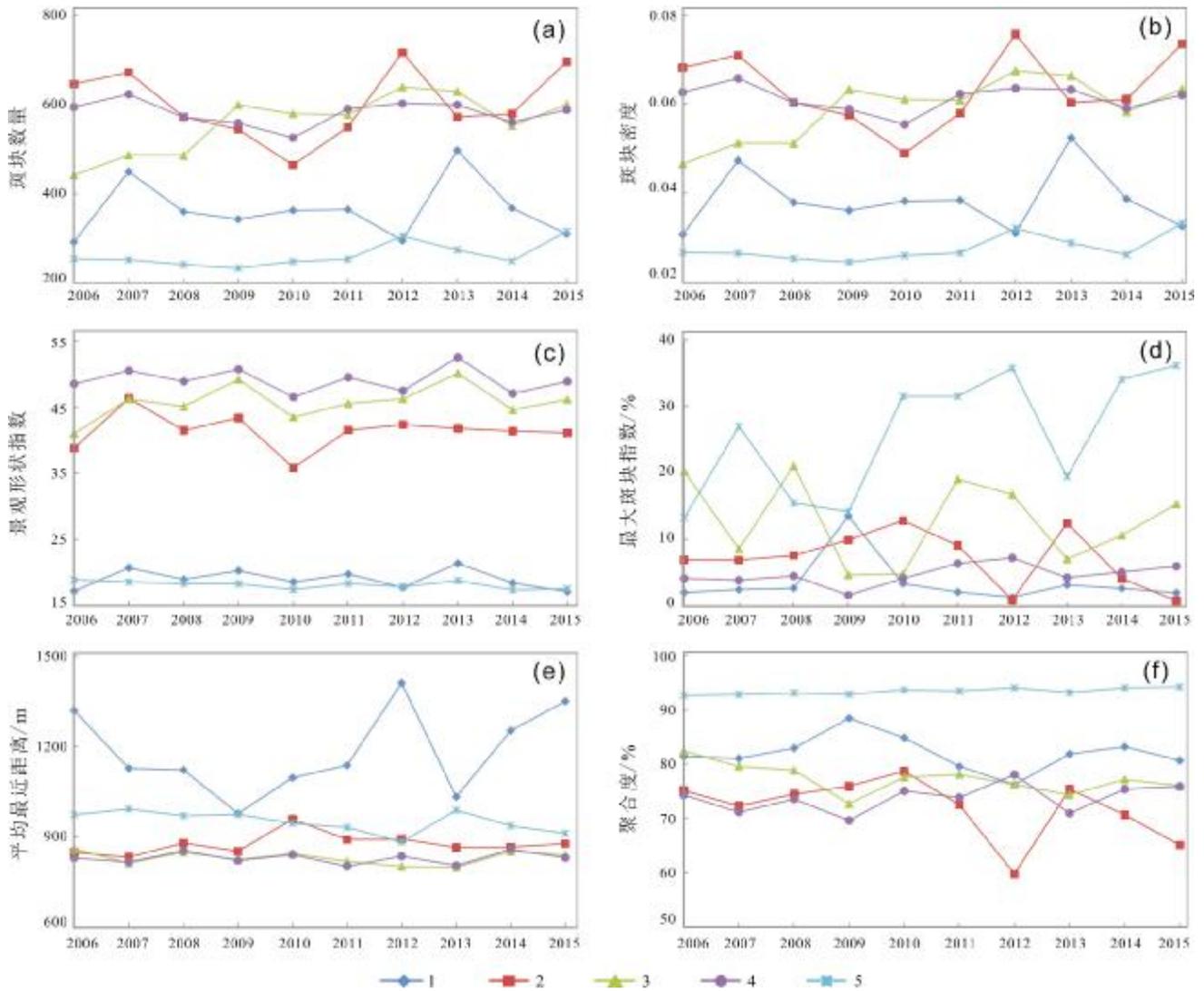


图5 2006—2015年晋城市不同植被覆盖等级斑块类型指数变化图

Fig. 5 Variation diagrams of patch types by vegetation coverage levels in Jincheng City during 2006–2015

a—斑块数量年际变化 (annual variation of patch number); b—斑块密度年际变化 (annual variation of patch density); c—景观形状指数年际变化 (annual variation of landscape shape index); d—最大斑块指数年际变化 (annual variation of the largest patch index); e—平均最近距离年际变化 (annual variation of mean nearest neighbor); f—斑块聚合度年际变化 (annual variation of patch aggregation index); 1—低植被覆盖 (low vegetation coverage); 2—较低植被覆盖 (relatively low vegetation coverage); 3—中度植被覆盖 (moderate vegetation coverage); 4—较高植被覆盖 (relatively high vegetation coverage); 5—高植被覆盖 (high vegetation coverage)

升趋势, 在 2011—2013 年斑块数量起伏波动较大, 斑块破碎度高且仍在提高. 从最大斑块所占面积比例和聚合度方面观察, LPI 和 AI 均较小, 说明较低植被覆盖在整个景观中并不处于优势地位且连通度差, 并且在 2010—2012 年 LPI 和 AI 明显降低, 2012 年后又迅速上升, 可能是因为 2012 年外界因素不利于较低植被覆盖作物生长, 从而使较低植被覆盖优势度降低, 斑块连通性减弱.

### (3) 中度植被覆盖

2006—2015 年中度植被覆盖斑块数量较多, 呈现上升趋势, 从 2006 年的 442 增加到 2015 年的 601, 斑块数量增多 159, 斑块破碎度较高且仍在提高. 景观形状指数较高并且在 2011 年后逐渐趋于稳定, 说明被植被覆盖斑块边界复杂, 形状不太规则, 直到 2011 年景观形状逐渐趋于稳定. 最大斑块所占面积比例每年波动变化大, 说明中度植被覆盖受外界干扰较大.

#### (4)较高植被覆盖

2006—2015年较高植被覆盖斑块数量多,出现略微下降,斑块破碎度高但有轻微降低;景观形状指数每年都是5个植被覆盖等级中的最大值,说明较高植被覆盖复杂度最高,形状最不规则.最大斑块所占面积比例基本维持在最低点,表明较高植被覆盖并不占优势.另外较高植被覆盖平均最近距离小,两两斑块之间距离较近,分布集中.

#### (5)高植被覆盖

2006—2015年高植被覆盖指数斑块数量较少,呈现上升趋势,斑块破碎度较低但正在逐渐升高.景观形状指数低并且总体处于稳定状态,说明高植被覆盖斑块边界简单,形状较为规则.最大斑块所占面积比例大,但每年的波动起伏大,说明高植被覆盖在整个景观中处于优势地位但受外界干扰较大.从聚合角度观察,高植被覆盖指数AI最大并且较为稳定,表明高覆盖植被斑块连通性好,面积集中.

## 4 结论与讨论

本文以晋城市为研究对象,提取了2006—2015年的植被覆盖指数,结合研究区具体情况和前人研究成果,将其划分为低植被覆盖区、较低植被覆盖区、中度植被覆盖区、较高植被覆盖区和高植被覆盖区.运用空间分析和景观生态学方法,对晋城市2006—2015年植被覆盖指数的时空变化进行研究,分析其植被覆盖指数结构、景观格局的年际变化,得到以下结论:

(1)研究区以高植被覆盖为主,其中高植被覆盖指数和较高植被覆盖指数面积在增多,而其中以高植被覆盖指数斑块面积增加最多;中度、较低和低植被覆盖指数面积在减少,其中中度植被覆盖指数面积减少最多.另外每年的高植被覆盖指数和中度植被覆盖指数均占了很大比重,但中度植被覆盖面积不断减少,向高植被覆盖转变.

(2)研究区10年间的植被覆盖指数均有不同程度的增加,并且随着高程越高,坡度越大,植被覆盖指数也在逐渐增加.在2009年,由于降水量偏少,该地区不同高程和坡度下的植被覆盖指数均成为了这10年间的最小值.在各个县域,植被覆盖指数都是增加的,其中沁水县、陵川县和阳城县增加明显,高平市、城区和泽州县仅有轻微增加.总体来说,晋城市在10年间

植被覆盖指数是增加的,贯彻了国家的退耕还林,退耕还草政策.

(3)景观水平上,10年间晋城市景观破碎度增强,景观多样性降低,高植被覆盖斑块对景观的支配程度加强并逐渐处于优势地位,植被景观均匀度减少,越来越由少数景观植被类型所控制.类型水平上,低植被覆盖指数和高植被覆盖指数景观破碎度程度小,形状较为规则,高植被覆盖在整个景观中处于优势地位.

本研究在选取景观类型水平和景观格局水平两个尺度上的指数进行计算时,主要是通过前人研究成果确定景观格局分析指数,因此还需进一步结合研究区的特征选取不同的指数计算分析.此外晋城市地区的植被景观既受人类活动影响,又受自然因素制约.本文只考虑了地形因子,没有考虑降雨量、湿度、温度、日照等的影响.随着降雨量、湿度、温度、日照等条件的改变,植被景观会产生什么样的变化也值得深入研究.

## 参考文献(References):

- [1]马骏,马朋,李昌晓,等.2000—2011年三峡库区重庆段植被覆盖景观格局变化[J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(12):141-147.
- [2]Ma J, Ma P, Li C X, et al. Changes in landscape patterns of vegetation coverage in Chongqing section of the Three Gorges reservoir region from 2000-2011[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2014, 36(12): 141-147.
- [3]Lydersen J M, Collins B M. Change in vegetation patterns over a large forested landscape based on historical and contemporary aerial photography[J]. Ecosystems, 2018, 21(7): 1348-1363.
- [4]李薇,谈明洪.太行山区不同坡度NDVI变化趋势差异分析[J].中国生态农业学报,2017,25(4):509-519.
- [5]Li W, Tan M H. NDVI variation tendency under different slopes in Taihang Mountain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(4): 509-519.
- [6]Gu Z J, Duan X W, Shi Y D, et al. Spatiotemporal variation in vegetation coverage and its response to climatic factors in the Red River Basin, China[J]. Ecological Indicators, 2018, 93: 54-64.
- [7]Higley M C, Conroy J L. The hydrological response of surface water to recent climate variability: A remote sensing case study from the central tropical Pacific[J]. Hydrological Processes, 2019, 33(16):2227-2239.
- [8]高彦净,谢余初,钱大文,等.甘肃白龙河流域植被覆盖度及景观格局变化[J].水土保持研究,2015,22(1):181-187.
- [9]Gao Y J, Xie Y C, Qian D W, et al. Dynamic variations of vegetation coverage and landscape pattern in Bailongjiang Basin of Southern Gansu[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(1):

- 181-187.
- [7] Li Y L, Wang X Q, Chen Y Z, et al. The correlation analysis of land surface temperature and fractional vegetation coverage in Fujian Province[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2019, 21(3): 445-454.
- [8] Duncan J M A, Boruff B, Saunders A, et al. Turning down the heat: An enhanced understanding of the relationship between urban vegetation and surface temperature at the city scale[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 656: 118-128.
- [9] 王新闯, 刘文锴, 杨会军, 等. 河南省植被覆盖度及其景观格局时空变化[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(6): 241-247, 254.
- Wang X C, Liu W K, Yang H J, et al. Spatiotemporal change of fractional vegetation coverage and its landscape pattern in He'nan Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015, 35(6): 241-247, 254.
- [10] 张建香, 张勃, 尹海霞, 等. 2000—2011年黄土高原植被景观格局变化[J]. *生态学报*, 2013, 32(2): 452-458.
- Zhang J X, Zhang B, Yin H X, et al. Landscape pattern changes of vegetation coverage in Loess Plateau of Northwest China in 2000-2011[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(2): 452-458.
- [11] 苏艳琴, 赖日文, 闫琦, 等. 植被覆盖度提取及景观格局分析[J]. *森林与环境学报*, 2018, 38(2): 164-170.
- Su Y Q, Lai R W, Yan Q, et al. Extraction of vegetation coverage and analysis of landscape pattern[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2018, 38(2): 164-170.
- [12] 龚建周, 夏北成. 景观格局指数间相关关系对植被覆盖度等级分类数的响应[J]. *生态学报*, 2007, 27(10): 4075-4085.
- Gong J Z, Xia B C. Response to classification numbers of vegetation types on correlative coefficients among landscape metrics[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4075-4085.
- [13] 吴国玺, 喻铮铮, 刘良云. 区域景观格局变化及生态修复——以北京门头沟区为例[J]. *地理研究*, 2011, 30(7): 1227-1236.
- Wu G X, Yu Z Z, Liu L Y. Research on landscape pattern change and regional ecological restoration: A case study of Mentougou District, Beijing[J]. *Geographical Research*, 2011, 30(7): 1227-1236.
- [14] 王刚, 管东生. 植被覆盖度和归一化湿度指数对热力景观格局的影响——以广州为例[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(9): 2429-2436.
- Wang G, Guan D S. Effects of vegetation cover and normalized difference moisture index on thermal landscape pattern: A case study of Guangzhou, South China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(9): 2429-2436.
- [15] 黄婷, 于德永, 乔建民, 等. 内蒙古锡林郭勒盟景观格局变化对土壤保持能力的影响[J]. *资源科学*, 2018, 40(6): 1256-1266.
- Huang T, Yu D Y, Qiao J M, et al. Landscape pattern change and soil conservation in Xilingol League, Inner Mongolia[J]. *Resources Science*, 2018, 40(6): 1256-1266.
- [16] 徐凯健, 曾宏达, 任婕, 等. 亚热带典型红壤侵蚀区人类活动对植被覆盖度及景观格局的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(21): 6960-6968.
- Xu K J, Zeng H D, Ren J, et al. Spatial and temporal variations in vegetation cover in an eroded region of subtropical red soil and its relationship with the impact of human activity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(21): 6960-6968.
- [17] 王静, 周伟奇, 许开鹏, 等. 京津冀地区城市化对植被覆盖度及景观格局的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(21): 7019-7029.
- Wang J, Zhou W Q, Xu K P, et al. Spatiotemporal pattern of vegetation cover and its relationship with urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei megaregion from 2000 to 2010[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(21): 7019-7029.
- [18] McGarigal K, Marks B J. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure[R]. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.
- [19] 武文一. 山西省晋城市土地利用时空变化研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- Wu W Y. Study on the spatial-temporal change of land use in the Jincheng City of Shanxi Province[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2009.
- [20] 王小芳. 促进晋城市规模以上企业发展的思考及建议[J]. *经济研究参考*, 2008(63): 31-33.
- Wang X F. Thoughts and suggestions on promoting the development of enterprises above scale in Jincheng City[J]. *Review of Economic Research*, 2008(63): 31-33.
- [21] 中华人民共和国环境保护部. HJ 192—2015 生态环境状况评价技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015.
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. HJ 192—2015 Technical criterion for ecosystem status evaluation[S]. Beijing: China Environmental Press, 2015.
- [22] 周淑琴, 荆耀栋, 张青峰, 等. 毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(12): 3774-3782.
- Zhou S Q, Jing Y D, Zhang Q F, et al. Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us sandy land[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(12): 3774-3782.
- [23] 刘家琰, 谢宗强, 申国珍, 等. 基于 SPOT-VEGETATION 数据的神农架林区 1998—2013 年植被覆盖度格局变化[J]. *生态学报*, 2018, 38(11): 3961-3969.
- Liu J Y, Xie Z Q, Shen G Z, et al. Dynamics and analysis of vegetation fraction changes in Shennongjia forest district during 1998 to 2013 by using SPOT-VEGETATION NDVI data[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(11): 3961-3969.

- Ningxia Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Ningxia Hui Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 26. (in Chinese)
- [11]中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 3-16. Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0258—2014 Specification of multi-purpose regional geochemical survey (1:250 000) [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015: 3-16.
- [12]成杭新, 李括, 李敏, 等. 中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 265-306. Cheng H X, Li K, Li M, et al. Geochemical background and baseline value of chemical elements in urban soil in China[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(3): 265-306.
- [13]庞绪贵, 代杰瑞, 陈磊, 等. 山东省17市土壤地球化学背景值[J]. 山东国土资源, 2019, 35(1): 46-56. Pang X G, Dai J R, Chen L, et al. Soil geochemical background value of 17 cities in Shandong Province [J]. Shandong Land and Resources, 2019, 35(1): 46-56.
- [14]朱立新, 马生明, 王之峰. 土壤生态地球化学基准值及其研究方法探讨[J]. 地质与勘探, 2003, 39(6): 58-60. Zhu L X, Ma S M, Wang Z F. Methodology for soil eco-geochemical reference value[J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(6): 58-60.
- [15]董岩翔, 郑文, 周建华, 等. 浙江省土壤地球化学背景值[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 196. Dong Y X, Zheng W, Zhou J H, et al. Soil geochemical background in Zhejiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 196.
- [16]鲍丽然, 龚媛媛, 严明书, 等. 渝西经济区土壤地球化学基准值与背景值及元素分布特征[J]. 地球与环境, 2015, 43(1): 31-40. Bao L R, Gong Y Y, Yan M S, et al. Element geochemical baseline and distributions in soil in Chongqing West Economic Zone, China [J]. Earth and Environment, 2015, 43(1): 31-40.
- [17]王乔林, 宋云涛, 吕许朋, 等. 云南省西部地区土壤地球化学基准值特征及成因分析[J]. 现代地质, 2021, 35(2): 412-424. Wang Q L, Song Y T, Lv X P, et al. Characteristics and genesis of soil geochemical baselines in western Yunnan Province[J]. Geoscience, 2021, 35(2): 412-424.
- [18]中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 42-43. Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0295—2016 Determination of land quality geochemical evaluation[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 42-43.
- [19]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 72. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 72.
- [20]陆雯婷. 固原市地下水污染调查评价[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2016. Lu W T. Evaluation of groundwater pollution investigation of Guyuan [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2016.
- [21]吕贻忠, 李保国. 土壤学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2020: 115-130. Lyu Y Z, Li B G. Soil science[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 115-130. (in Chinese)

(上接第 538 页/Continued from Page 538)

- [24]随金明. 围栏对荒漠草原景观格局的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2018. Sui J M. The affects of fencing grassland on the landscape pattern in the desert steppe[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2018.
- [25]刘世梁, 武雪, 朱家菡, 等. 耦合景观格局与生态系统服务的区域生态承载力评价[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(5): 694-704. Liu S L, Wu X, Zhu J L, et al. Evaluation of regional ecological carrying capacity coupling with landscape pattern and ecosystem services[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(5): 694-704.
- [26]高国林, 王石英, 蒋容. 翠屏区植被覆盖及其景观格局变化遥感分析[J]. 水土保持研究, 2013, 20(3): 104-109. Gao G L, Wang S Y, Jiang R. Remote sensing analysis on vegetation cover and landscape patterns change in Cuiping[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(3): 104-109.
- [27]张起鹏, 王建, 张志刚, 等. 高寒草甸草原景观格局动态演变及其驱动机制[J]. 生态学报, 2019, 39(17): 6510-6521. Zhang Q P, Wang J, Zhang Z G, et al. Dynamic change of landscape patterns and its driving mechanism in the Qinghai-Tibetan alpine meadow[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(17): 6510-6521.
- [28]张红英, 李毓富, 刘耀文, 等. 山西南部气温和降水极值研究[J]. 干旱区研究, 2018, 35(3): 589-596. Zhang H Y, Li Y F, Liu Y W, et al. Extreme values of temperature and precipitation in southeast Shanxi Province[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(3): 589-596.
- [29]戎晓庆, 庞奖励, 韩军青. 山西省1958—2012年旱涝灾害分布趋势及气候背景研究[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(9): 97-102. Rong X Q, Pang J L, Han J Q. Distribution trends of drought and flood disasters and climate background from 1958 to 2012 in Shanxi Province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(9): 97-102.
- [30]刘立文, 徐立帅, 段永红, 等. 晋城市植被覆盖时空变化与地形效应耦合[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(8): 1-6, 11. Liu L W, Xu L S, Duan Y H, et al. Spatial and temporal dynamics of vegetation cover and its influencing factors in Jincheng area [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2021, 44(8): 1-6, 11.