

DOI: 10.5846/stxb201709131650

朱林富, 谢世友, 杨华, 马明国. 基于 MODIS-EVI 的重庆植被覆盖时空分异特征研究. 生态学报, 2018, 38(19): - .

Zhu L F, Xie S Y, Yang H, Ma M G. Study on the spatial-temporal variability of vegetation coverage based on MODIS-EVI in Chongqing. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19): - .

基于 MODIS-EVI 的重庆植被覆盖时空分异特征研究

朱林富^{1,2}, 谢世友^{1,2,*}, 杨 华³, 马明国^{1,2}

1 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715

2 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

3 重庆师范大学 GIS 应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 401331

摘要: 利用 MODIS-EVI 数据, 采用像元二分模型结合距平百分率、变异系数和分布指数对 2000—2015 年重庆植被覆盖度变化时空分异特征进行了分析, 结果表明: (1) 重庆植被年际、夏、秋季和 2008—2015 年春季以中覆盖度为主, 冬季以及 2000—2007 年春季以低覆盖度为主。 (2) 植被覆盖年际变化不明显; 劣覆盖度在 2000、2002、2003 年春季, 2001、2006 年秋季以及 2011 年冬季异常偏多; 低覆盖度在 2000、2001 年秋季异常偏多; 高覆盖度在 2000、2008 年秋季和 2014 年春季异常偏少。 (3) 植被的波动变化除了冬季以中度为主外, 年际、春、夏、秋季均以轻度为主; 稳定比例最高为夏季, 轻度比例最高为秋季, 中度和重度比例最高为冬季。 (4) 稳定和轻度波动类型主要分布在山地森林和草地区, 中度和重度波动类型主要是城镇、水域及其周边区域。在 400m 以下, 植被变化为重度波动; 在 400—800m, 植被年际和夏季趋于稳定分布, 而春、秋、冬季为轻度波动; 在 800—1300m, 植被年际和夏季为中度波动, 春、秋、冬季为稳定分布; 在 1300 m 以上, 植被年际和夏季呈现轻度波动, 春季为中度波动, 秋、冬季为稳定分布。

关键词: 植被覆盖度; MODIS-EVI; 像元二分模型; 变异系数; 分布指数; 时空分异

Study on the spatial-temporal variability of vegetation coverage based on MODIS-EVI in Chongqing

ZHU Linfu^{1,2}, XIE Shiyu^{1,2,*}, YANG Hua³, MA Mingguo^{1,2}

1 School of Geographic Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment, Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

3 Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

Abstract: The spatial-temporal variability of vegetation coverage in Chongqing was studied based on the MODIS-EVI datasets using the method of dimidiate pixel modeling and anomaly percentage and variance coefficient and distribution indexes from 2000—2015. The results showed that: (1) the vegetation coverage was dominated by medium coverage annually and in summer and autumn. In spring, the vegetation coverage was dominated by low coverage from 2000—2007, while it was dominated by medium coverage from 2008—2015. (3) The annual coverage did not changed significantly. Little coverage was much more than normal in the springs of 2000, 2002, and 2003, and in the autumns of 2001 and 2006, and in the winter of 2011. Low coverage was much greater than normal in the autumns of 2000 and 2001. High coverage was much less than normal in the autumns of 2000 and 2008 and in the spring of 2014. (3) Priority was given to the fluctuation of vegetation coverage with low fluctuation annually and in spring, summer, and autumn, while priority was given to moderate fluctuation in winter. The highest percentage stability was recorded during summer and low fluctuation was in

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAC01A16, 2011BAC09B01); 重庆市自然科学基金重点项目 (CSTC2009BA0002)

收稿日期: 2017-09-13; **网络出版日期:** 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiesy@swu.edu.cn

autumn, while the moderate and serious fluctuations were in winter. (4) The stable and low fluctuations were mainly distributed in the forest and grass on mountains, while the moderate and serious fluctuations were mainly distributed in the town, water, and the surrounding region. With the increase in elevation, the serious fluctuation was mainly distributed below 400m. The vegetation was stable annually and during summer, while in spring, autumn, and winter there was low fluctuation for vegetation between 400—800m. The annual and summer vegetation showed moderate fluctuation, while in spring, autumn, and winter it was stable between 800—1300m. Annual and summer vegetation showed low fluctuation, while in spring there was moderate fluctuation, but was stable in autumn and winter above 1300m.

Key Words: vegetation coverage; MODIS-EVI; dimidiate pixel mode variance; coefficient; distribution index; spatial-temporal variability

植被作为重要的陆地生态环境变化“指示器”,是物质循环和能量传递的“桥梁”^[1-3]。植被覆盖度直观体现了陆地生态环境状况,是生态系统和水土保持等研究的重要参数^[4],也是衡量岩溶地区石漠化的基础指标^[5]。我国西南岩溶地区石漠化问题严重,植被退化和土壤流失现象突出^[6]。重庆是长江流域重要的生态屏障,岩溶生态环境脆弱,三峡库区生态风险防控难度大。为了遏制石漠化,保护长江绿色生态廊道,国家和地方政府实施了一系列生态治理工程,如天然林保护、退耕还林还草等^[7-8]。植被覆盖的动态监测与评价便是生态治理成效的主要参考依据,而重庆地形地貌复杂,植被分布地域差异大,传统的地面监测费时费力,监测难度大^[4]。

随着遥感技术的发展,MODIS 作为当今世界上新一代“图谱合一”、从可见光到热红外全光谱覆盖的光学遥感仪器,时间、空间、光谱分辨率优势明显,可以在大范围内对植被覆盖进行实时、动态和连续监测^[4]。其中,反映植被生长变化情况的数据包括 NDVI 和 EVI,NDVI 的使用最为广泛^[9-11]。相比于 NDVI,EVI 在算法和合成方法上的改进^[9,12-13],使大气、土壤背景以及像元异常值的影响进一步减弱,解决了 NDVI 易饱和的问题^[14-15],不仅能更好地反映浓密植被的生长变化^[13],还能对稀疏植被进行很好的区分^[16],尤其是在监测岩溶地区植被变化时更具有客观性^[10]。它的广泛应用必将推动涉及植被生长监测的生态、环境、农业等领域的发展进步^[13]。

迄今,植被变化研究多集中在 NDVI 年际变化与气候^[3,5,11,17]、地形^[8,18]、人类活动^[5,8,19]等的关系方面,而运用 EVI 在长时序上从稳定性方面来分析植被变化时空分异特征的研究还较少^[7,12]。因此,本研究选取 MODIS-EVI 数据,采用变异系数结合分布指数等方法分析重庆植被覆盖的时间和空间变化规律,揭示植被变化的时空差异性,以期能更好地为石漠化地区的生态环境治理和植被生态恢复评价提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

重庆位于四川东部,是青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,105°11′—110°11′ E、28°10′—32°13′ N。西、北与四川相连,东与陕西、湖北和湖南相邻,南与贵州接壤,幅员面积 82402.95km²。境内有大巴山、巫山、武陵山、大娄山等主要山脉,河流有长江、嘉陵江等(图 1)。

重庆地貌分异明显,岩溶地貌广布。地势起伏大,以丘陵、山地为主,海拔最低 73.1m,最高 2797m。从南、北往长江河谷地势逐级降低,山地多在 1500m 以上,丘陵多为 300—400m。全市种植土地占 28.50%,林草覆盖占 63.75%,水面占 2.32%。自然植被主要有常绿阔叶林、针叶林、竹林、灌丛和草地等类型。

重庆亚热带季风湿润气候显著,四季分明。光温水同季,云雾天气多、霜雪少见,春早、夏热、秋凉、冬暖。常年均温 13—19℃,降水丰沛但分布不均,季节性显著,年日照时数 1000—1400h,为中国年日照最少的地区之一。

重庆城乡差异大,扶贫与环境保护矛盾突出。长期以来的乱砍乱伐、不合理的土地利用造成的环境破坏

严重,导致石漠化和水土流失的不断加剧。三峡库区地质灾害点多面广,生态风险大。近年来,重庆积极推进退耕还林还草、生态移民、天然林保护、水土保持与石漠化治理、矿山复垦、园林绿化等工程,生态环境得到有效改善。

1.2 数据来源及处理

本研究采用的 MODIS 数据为 Terra 卫星的 MOD13Q1,格式为 EOS-HDF,从美国地质调查局地球资源观察和科学 (EROS) 中心的宇航局陆地过程分布式数据档案中心 (LP DAAC) 下载获得。其数据包括 NDVI 和 EVI,均为 16d 合成的 250m 分辨率影像。研究中所选取的数据为 2000 年 3 月至 2016 年 2 月的 EVI 数据,每年 23 期,共 368 期影像。首先,对影像进行批量拼接、地理几何校正和重采样,得到 tiff 影像,坐标系为 WGS-84-UTM-zone-48N。然后,以研究区行政边界为掩膜进行裁剪,生成重庆 EVI 影像,并按时间顺序划分春 (5—9 期)、夏 (10—15 期)、秋 (16—21 期)、冬 (22—4 期)。最后,为了减少误差和便于计算,对每一年季的数据采用最大值合成法 (MVC) 得到年季最大值 EVI 影像,再根据像元二分模型计算植被覆盖度。

DEM 数据为 30m 分辨率的 ASTER GDEM V2,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台。然后进行拼接、投影转换、重采样和裁剪,得到 250m 分辨率的重庆 DEM 图,坐标系为 WGS-84-UTM-zone-48N。为了便于分析和比较,结合实际并参考相关研究^[20-21],把重庆高程共分为 15 级 (表 1)。

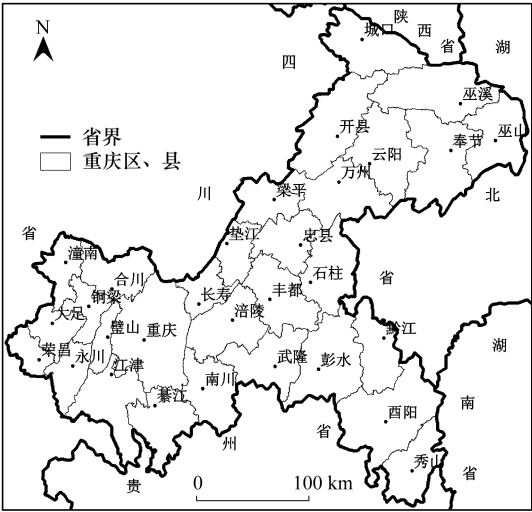


图 1 重庆市区域位置图

Fig.1 The regional locations of Chongqing

表 1 重庆高程梯度分级

Table 1 The gradient of elevation of Chongqing

梯度 Gradient	1	2	3	4	5	6	7	8
高程 Elevation/m	≤200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800	800—900
梯度 Gradient	9	10	11	12	13	14	15	
高程 Elevation/m	900—1000	1000—1100	1100—1200	1200—1300	1300—1400	1400—1500	>1500	

2 研究方法

2.1 植被覆盖度的计算

像元二分模型的原理是假设图像的像元信息是由土壤和植被两部分组成,那么遥感传感器所获得的像元信息 (DN) 则可以表示为土壤贡献的信息 (DN_{soil}) 和绿色植被贡献的信息 (DN_{veg}) 两部分^[22],即:

$$DN = DN_{soil} + DN_{veg}$$
 (1)

假设一个纯土壤和纯植被覆盖像元的遥感信息分别为 DN_{soil} 、 DN_{veg} ,那么如果在一个混合像元中纯植被覆盖的面积比例为 FVC,即该像元的植被覆盖度,则纯土壤的面积比例为 (1-FVC),则该混合像元的信息可以表示如下:

$$DN = (1-FVC) \times DN_{soil} + FVC \times DN_{veg}$$
 (2)

对 (2) 式进行变换可得植被覆盖度计算公式:

$$FVC = \frac{DN - DN_{soil}}{DN_{veg} - DN_{soil}}$$
 (3)

MODIS-EVI 数据是由传感器获得的光谱信息推算得到的植被覆盖信息,根据模型原理,其像元值 EVI 也

可以表示为纯土壤像元值(EVI_{soil})和纯植被像元值(EVI_{veg})两部分组成,因此利用 EVI 计算植被覆盖度的公式如下^[23]:

$$FVC = \frac{EVI - EVI_{soil}}{EVI_{veg} - EVI_{soil}} \quad (4)$$

EVI_{soil} 理论上应该为 0,但由于地表环境的复杂性, EVI_{soil} 一般为 $-0.1 \sim -0.2$ ^[4]。同理, EVI_{veg} 也会随植被类型、季节而变化。因此,采用固定的 EVI_{soil} 和 EVI_{veg} 显然是不妥的。本研究根据影像数据和相关研究^[5,23],选取 0.5% 为置信度,即累积百分比 0.5% 的为纯土壤像元(EVI_{soil}),99.5% 的为纯植被像元(EVI_{veg}),并将植被覆盖度分为 4 级(表 2)。

表 2 植被覆盖度分级

Table 2 The grade of vegetation coverage fraction

等级 Grade	劣覆盖度 Little coverage	低覆盖度 Low coverage	中覆盖度 Medium coverage	高覆盖度 High coverage
植被覆盖度 vegetation coverage	≤ 0.3	0.3—0.5	0.5—0.7	> 0.7

2.2 植被覆盖异常变化

距平百分率是某时段的值与常年同期平均值之差,与常年同期平均值相比的百分率。它表征了某时段的价值较常年值偏多或偏少,能直观反映某值的异常变化;在气象日常业务中,常用降水距平百分率评估月、季、年发生的干旱事件^[24-25]。本文借用距平百分率来反映一段时期内,植被覆盖度的面积偏离同期多年平均值的程度(表 3)。计算公式为:

$$A = \frac{X_i - \bar{X}}{\bar{X}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (6)$$

式中, A 为距平百分率, X_i 为 i 期植被覆盖度面积, $\bar{X}$ 为 2000—2015 年内植被覆盖度平均面积。

表 3 植被覆盖度变化分级

Table 3 The change of vegetation coverage fraction

等级 Grade	异常偏少 Much less	偏少 Less	正常 Normal	偏多 More	异常偏多 Much more
距平百分率 Anomaly/%	≤ -50	-50—-30	-30—30	30—50	≥ 50

2.3 植被覆盖稳定性分析

变异系数是反映资料中观测值变异程度的统计量,是标准差与均值的比率。它可以消除资料中因观测值的单位或平均数的不同而对结果比较产生的影响,能够准确的表示单位均值的离散程度^[26-27],其计算公式如下:

$$C.V. = \frac{\sigma}{FVC} \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (FVC_i - \overline{FVC})^2} \quad (8)$$

式中, $C.V.$ 为变异系数, σ 为标准差。 $C.V.$ 值越小,表示植被覆盖度的分布越集中,随时间变化的波动小,稳定性较好;反之,则表示植被覆盖度的分布越离散,随时间变化的波动大^[27-28](表 4)。

2.4 植被覆盖变化的空间分布

植被变化在不同区域的分布特征不同。为了避免分区和植被变化面积的不同对结果的影响,本研究采用

分布指数 DI 来评价不同区域的植被变化分布情况^[20-21,29],其计算公式如下:

$$DI = \frac{S_{ie}}{S_i} / \frac{S_e}{S}$$

(9)

式中, S_{ie} 是在 e 区域内 i 类型的面积, S_i 是研究区内 i 类型的面积; S_e 是研究区内 e 区域的面积, S 是研究区面积。分布指数是无量纲的标准化指数,能很好的指示植被变化空间分布特征^[21]。若 $DI > 1$,表示该类型在 e 区域为优势分布, DI 越大,则优势越明显;若 $DI < 1$,表示该类型在 e 区域为非优势分布^[29]。

表 4 植被覆盖度波动分级
Table 4 The grade of vegetation coverage fraction

等级 Grade	稳定 Stable	轻度波动 Low fluctuation	中度波动 Moderate fluctuation	重度波动 Serious fluctuation
变异系数 Coefficient of Variation	≤0.1	0.1—0.2	0.2—0.3	>0.3

3 结果与分析

3.1 植被覆盖时序分布特征

3.1.1 不同植被覆盖度的面积比例

从图 2 可知,2000—2015 年,重庆植被年际、夏季和秋季分布以中覆盖度为主,其次是低覆盖度,高覆盖度第三,劣覆盖度最低;冬季则以低覆盖度为主,中覆盖度次之,劣覆盖度第三,高覆盖度最低;春季在 2000—2007 年,植被以低覆盖度为主,2008—2015 年以中覆盖度为主。

在年际和夏季中,2003、2007 年低覆盖度比例较高,而中覆盖度比例较低;春季,2000、2002、2003 年劣覆盖度比例较高,中覆盖度比例较低;秋季,低覆盖度在 2000、2001、2006 年比例较高,中覆盖度比例较低;冬季,在 2001、2007、2011 年,劣覆盖度比例较高,中覆盖度比例较低。这可能与气象灾害有关系,如 2000、2001、2006、2011 年的特大干旱以及 2008 年初的低温雨雪冰冻灾害,导致劣、低覆盖度分布面积增大,而中覆盖度分布面积减少。

综上可知,不同的植被覆盖度在年际、季节里的分布不同,对气象灾害的响应也有所差异,这与植被类型有一定关系。重庆以种植地和林草地为主,前者覆盖度相对较低,易受气象灾害影响,后者覆盖度较高,受灾害影响较小。

3.1.2 不同植被覆盖度的异常变化

2000—2015 年,植被低覆盖度和高覆盖度的变化比较明显,而劣覆盖度和中覆盖度变化比较弱(图 3)。其中,低覆盖度在 2003 年偏多,2011 和 2013 年偏少;高覆盖度在 2003 年偏少,2011 偏多,2013 年异常偏多。由此表明,近 16 年来,重庆植被覆盖总体较好,但在 2003、2011 和 2013 年仍然存在一定的变化。

在不同的季节中,劣覆盖度异常偏多的时期是 2000、2002、2003 年春季和 2001、2006 年秋季以及 2011 年冬季,在 2009、2011、2015 年春季异常偏少;低覆盖度在 2000、2001 年秋季异常偏多,在 2013 年夏季和秋季异常偏少;高覆盖度在 2000、2008 年秋季和 2014 年春季异常偏少,异常偏多的是在 2009 年春季、2011、2013 年夏季以及 2002、2004、2005、2013 年秋季。

综上可知,不同植被覆盖度的年际、季节变化差异明显,但主要集中在春、秋季,表现为劣覆盖度和低覆盖度的显著增加、高覆盖度的显著减少。这可能是因为重庆易发生春旱与伏旱等灾害天气,植被变化显著。

3.2 植被覆盖空间分布特征

3.2.1 不同波动程度的面积比例

从表 5 可知,植被年际变化以轻度波动为主,稳定其次,中度波动第三,重度波动比例最低,说明来重庆植被覆盖虽然存在一定的波动,但总体上较为稳定。

在不同季节里,植被变化有所差异。春、夏、秋季,以轻度波动为主,而冬季则以中度波动为主。其中,稳

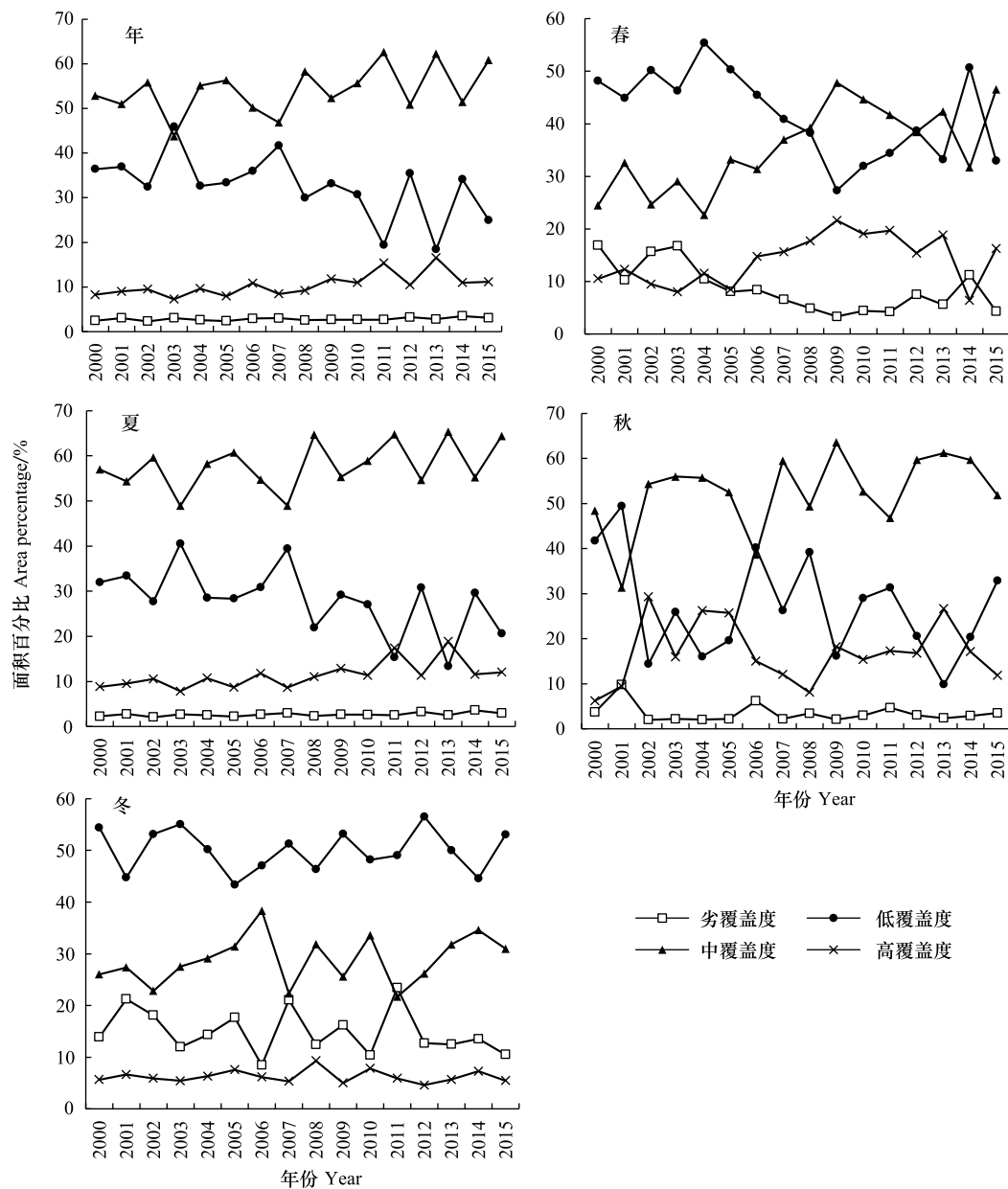


图2 2000—2015年重庆植被覆盖面积比例分布

Fig.2 The distribution of vegetation coverage in Chongqing during 2000—2015

定比例夏季最高,春季最低;轻度波动比例秋季最高,冬季最低;中度波动比例冬季最高,夏季最低;重度波动比例冬季最高,夏季最低。夏季是植被生长最旺盛的时候,所以稳定比例高而波动程度低;秋季因人工植被与自然植被落叶而表现为轻度波动;春、冬季受低温、雨雪的影响,植被变化中度、重度波动明显。

表5 不同波动程度的面积比例/%

Table 5 The ratio of different fluctuation

等级 Grade	年际 Annual	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
稳定 Stable	21.72	1.97	23.26	5.91	2.00
轻度波动 Low fluctuation	63.60	54.11	63.60	74.30	37.78
中度波动 Moderate fluctuation	11.68	35.73	10.30	16.47	40.34
重度波动 Serious fluctuation	3.00	8.19	2.84	3.32	19.88

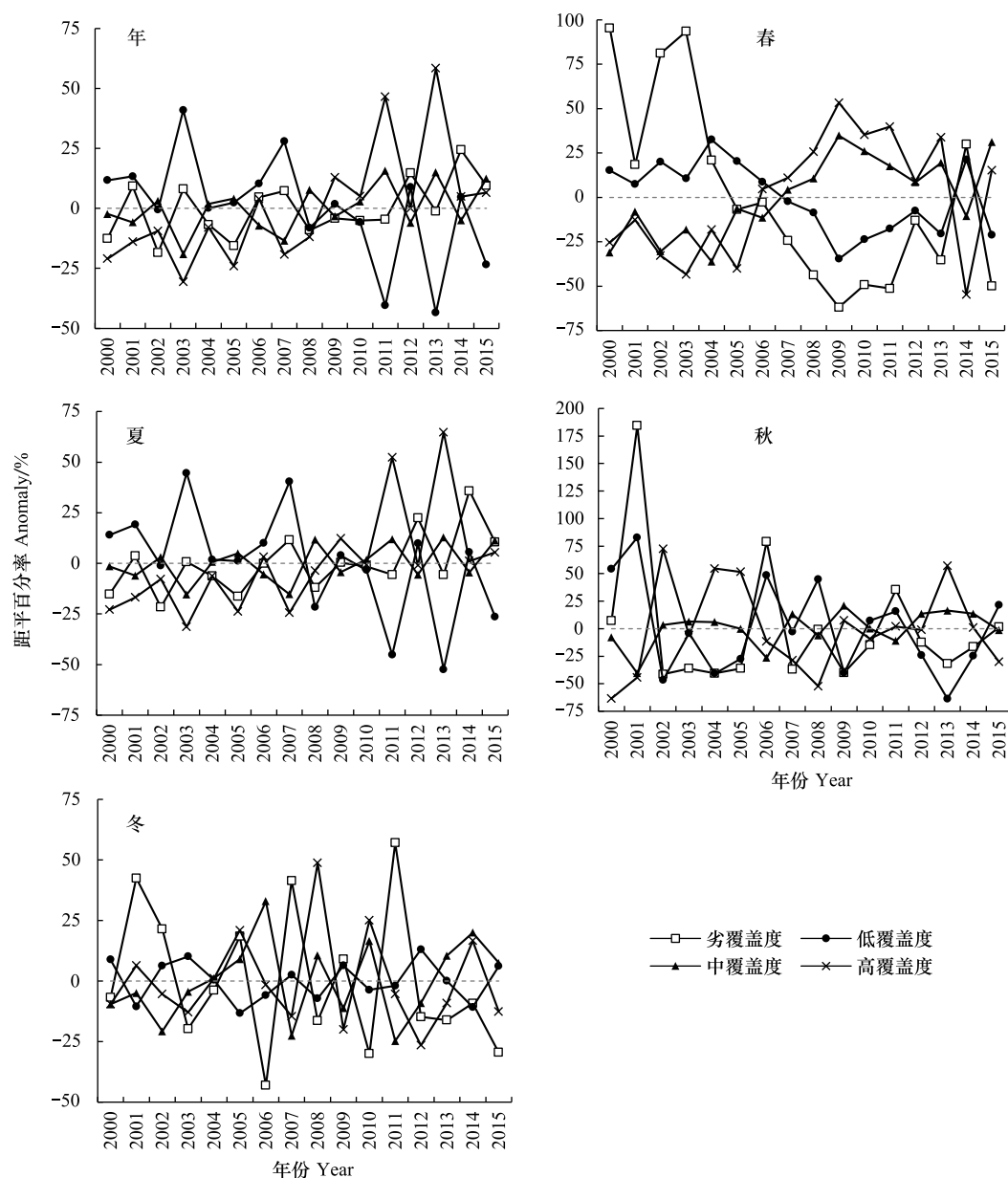


图3 2000—2015年重庆植被覆盖波动变化

Fig.3 The fluctuation of vegetation coverage in Chongqing during 2000—2015

3.2.2 不同波动程度的区域分布

从空间上看(图4),稳定类型在年际和夏季主要分布在城口、江津、綦江等地区,在春、秋、冬季主要分布在巫溪、巫山、奉节等地区;轻度波动类型在年际和夏季主要分布在铜梁、巫山、秀山等地区,在春、秋、冬季主要分布于巫山、奉节、云阳等地区;中度波动类型在年际和夏季中主要分布在酉阳、黔江、彭水等地区,而在春、秋、冬季主要分布在荣昌、大足、潼南等地区;重度波动类型主要分布在重庆、璧山、永川、长寿等地区。可以看出,变化波动较小的地区主要是山地森林和草地等自然植被类型分布较多的区域,这些地区人类影响有限,植被覆盖度相对稳定;而波动较大的地区主要分布在城镇、水域以及工业用地等区域,人类活动频繁,植被覆盖度受人工干扰强烈;此外,春、冬季在一些高山林地区也出现了比较大的波动变化,这应该与雨雪的影响有关系。

3.2.3 高程分布

随着高程的增加,植被波动分布趋势各不相同(图5)。重度波动类型呈现逐渐降低的趋势,轻度和中度

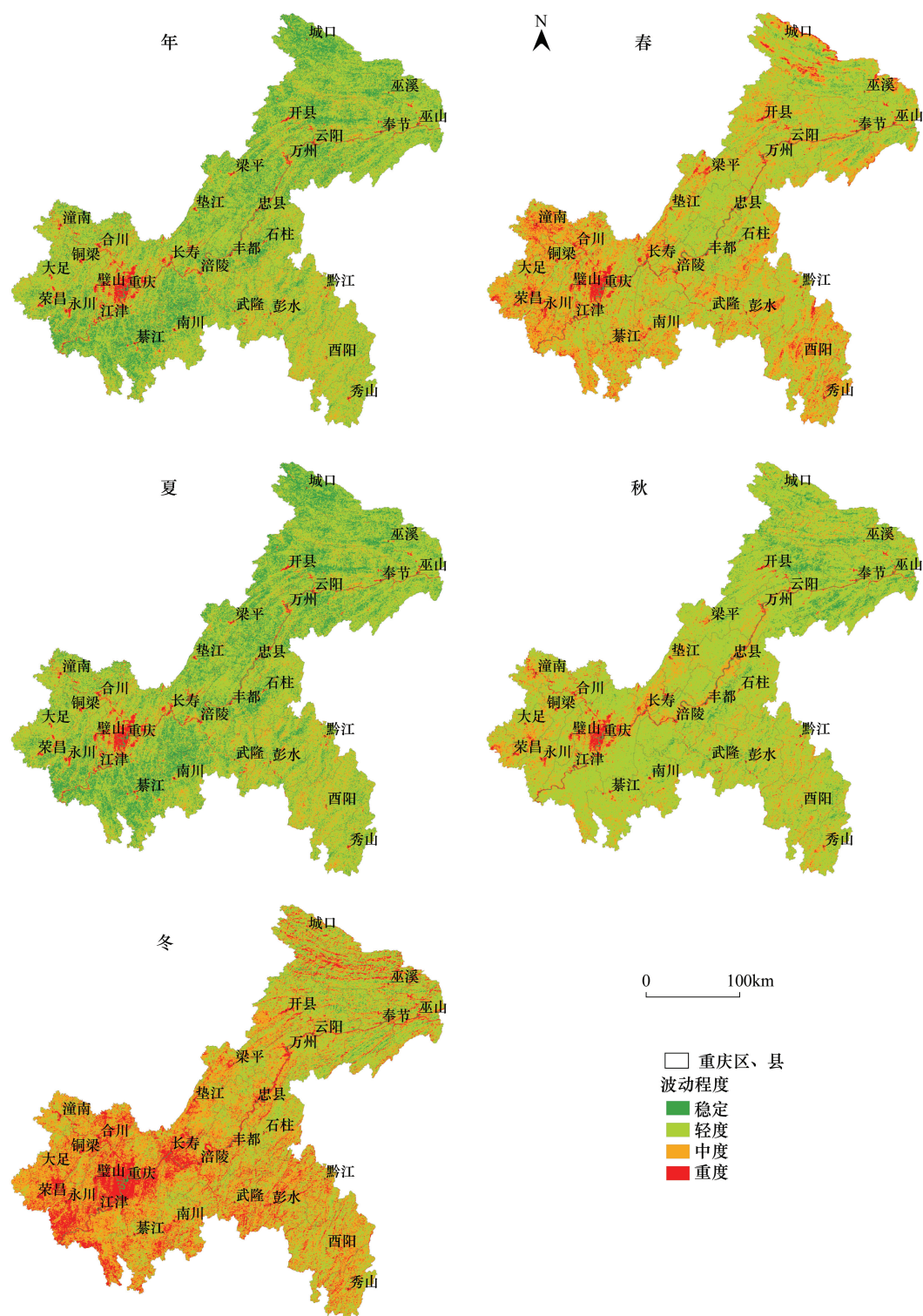


图4 重庆植被覆盖波动变化空间分布

Fig.4 The spatial distribution of the fluctuation of vegetation coverage in Chongqing

波动类型先增加后降低,稳定类型则是先降低后增加。

在不同的高程区域,植被波动变化程度不同。重度波动类型主要分布在1—3级($\leq 400\text{m}$)高程区;在4—7级($400\text{—}800\text{m}$)高程区,年际和夏季较稳定,春、秋、冬季存在轻度波动;在8—12级($800\text{—}1300\text{m}$)高程区,年际和夏季存在中度波动,春、秋、冬为稳定分布;在13—15级($>1300\text{m}$)高程区,年际和夏季为轻度波动,春

季为中度波动,秋、冬季为稳定分布。

综上可知,随着高程的增加,植被波动变化程度总体是逐渐降低,但不同的季节有一定差异。在地势较低区域,主要是耕地、城镇、水域以及工业建设用地,人类活动影响大,植被波动变化明显;随着地势逐渐增加,灌丛向林草地过渡,人类活动相对减弱,植被波动变化降低;在高地势区域,林地为主,植被较稳定,但仍然存在一定的波动,这可能与气候变化有关系。

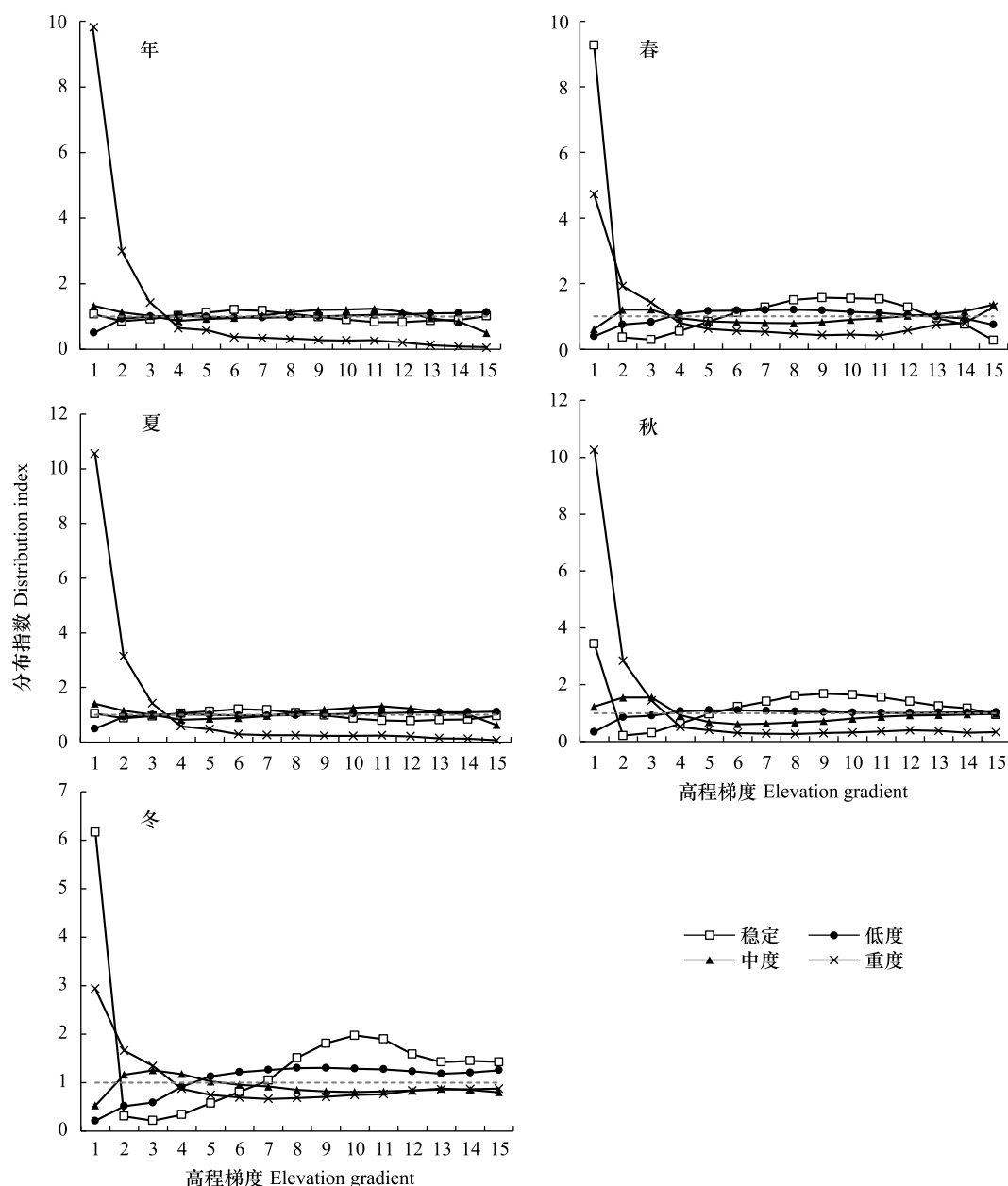


图 5 重庆植被覆盖波动变化与高程梯度的分布关系

Fig.5 The relationship between the fluctuation of vegetation coverage and the gradient of elevation in Chongqing

4 讨论

研究中所采用的 MODIS-EVI 数据,其来源于美国地质调查局地球资源观察和科学中心的陆地过程分布式数据档案中心。首先,EVI 在算法设计上避免了比值形式易饱和的缺陷,除了采用 NDVI 中的 NIR 和 Red 两个通道的数值外,还加入了一个 Blue 通道的值以校正气溶胶影响,同时还利用土壤调节参数和大气修正参

数来减少土壤背景和大气的影响。其次, EVI 的合成是以数据质量为前提, 优先选择晴天时传感器获得的像元值, 为定量遥感研究提供了更好的基础^[14]。此外, 本研究在数据处理中, 考虑到重庆多云雾的特殊情况, 采用目前通用的 MVC 法合成年或季 EVI 影像, 以期最大程度地降低云雾天气的影响, 并结合谷歌地图影像对 EVI 影像在重庆的实际应用做了一定的对比验证。由此可知, 不管是从数据来源、算法和处理过程, 还是实际的应用来看, MODIS-EVI 数据的科学性和可靠性均有保障, 能够满足研究的需要。

本研究利用距平百分率、变异系数并结合分布指数对重庆的植被覆盖变化进行了分析, 能够清楚地了解植被年际、季节以及空间上的分布差异, 这对于植被的恢复与评价有着实际的意义。

从研究中可以发现, 植被年际变化与空间分布情况跟夏季具有较多的相似之处, 而与春、冬季则差异明显。产生这一现象的原因是对多期遥感数据采用年最大值合成法所必然会出现的结果, 夏季是植被长势最好的时候, 此时植被叶绿素含量达到最大值, 遥感传感器接收的地表植被信息最大。这也提醒我们在研究植被变化对气象灾害的响应时, 要慎重考虑选择数据的时间段, 因为贸然选择年最大值合成法, 其结果可能很难完全反映植被受季节性灾害天气的影响, 从而导致研究结果的不确定性。如 2001、2006 年的伏旱导致其秋季低覆盖度比例异常偏高, 2008 年初(2007 年冬季)的雨雪冰冻灾害、2011 年夏秋连旱导致劣覆盖度比例异常偏高, 甚至高于中覆盖度, 这在年际变化上无法体现出来。

从植被异常变化中不难看出, 其异常变化主要集中在春季和秋季, 表现为劣覆盖度、低覆盖度异常增加或高覆盖度异常减少。值得注意的是, 中覆盖度虽有一定的变化但不明显, 一方面可能是由于重庆的植被以中覆盖度为主, 其面积比例大且相对稳定, 难以出现所谓的异常变化; 另一方面也说明不同的植被覆盖度对气候变化的响应也会有所差异, 因而对植被覆盖度的分级可以更好地分析其差异。

此外, 重庆地形地貌复杂多样, 区域差异大, 各个地方在季节时间点上会有一定差异。研究中采用气象学上的季节划分标准可能会产生一定的误差, 但为了便于植被变化的统计和分析对比, 仍然显得十分有必要。

还需要说明的是, 目前的 MODIS 数据时间尺度还比较短, 且遥感监测易受到重庆多雾多云天气的影响, 要弄清楚植被变化情况还需要更多数据的积累和深入的分析, 特别是人类活动的影响可以引入土地利用等关键数据。

5 结论

本研究利用 MODIS-EVI 数据对 2000—2015 年重庆植被覆盖度变化时空分异特征进行了分析, 得出了以下主要结论:

(1) 重庆植被年际、夏季和秋季均以中覆盖度为主, 低覆盖度其次, 高覆盖度第三, 劣覆盖度最低; 春季, 2000—2007 年以低覆盖度为主, 2008—2015 年以中覆盖度为主; 冬季则是低覆盖度>中覆盖度>劣覆盖度>高覆盖度。

(2) 在年际变化中, 植被覆盖度在 2003、2011、2013 年有一定变化, 但不明显。在季节变化中, 劣覆盖度在 2000、2002、2003 年春季, 2001、2006 年秋季以及 2011 年冬季异常偏多; 低覆盖度在 2000、2001 年秋季异常偏多; 高覆盖度在 2000、2008 年秋季和 2014 年春季异常偏少。

(3) 植被年际波动以轻度为主, 稳定其次, 中度第三, 重度最低。其中: 春、夏、秋季以轻度为主, 而冬季则以中度为主; 稳定比例夏季最高, 轻度比例秋季最高, 中度和重度比例冬季最高。

(4) 稳定和轻度波动类型主要分布在山地森林和草地区域, 中度和重度波动类型主要是城镇、水域及其周边区域。植被的波动程度主要集中在地势较低区域, 随着地势的升高, 逐渐趋于稳定, 但不同季节存在一定差异。

参考文献 (References):

- [1] Cui L L, Shi J. Temporal and spatial response of vegetation NDVI to temperature and precipitation in eastern China. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(2): 163-176.

- [2] 高江波, 吴绍洪, 蔡运龙. 区域植被覆盖的多尺度空间变异性——以贵州喀斯特高原为例. 地理研究, 2013, 32(12): 2179-2188.
- [3] 陈效述, 王恒. 1982-2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化. 地理学报, 2009, 64(1): 84-94.
- [4] 马娜, 胡云锋, 庄大方, 张学利. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化. 地理科学, 2012, 32(2): 251-256.
- [5] 符静, 秦建新, 张猛, 龙岳红. 2001-2013 年洞庭湖流域植被覆盖度时空变化特征. 地球信息科学学报, 2016, 18(9): 1209-1216.
- [6] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101-105.
- [7] 刘灿, 高阳华, 李月臣, 杨世琦, 倪波顺. 基于 NDVI 的重庆市植被覆盖变化及其对气候因子的响应. 长江流域资源与环境, 2013, 22(11): 1514-1520.
- [8] 李建国, 濮励杰, 刘金萍, 李月臣, 刘丽丽. 2001 年至 2010 年三峡库区重庆段植被活动时空特征及其影响因素. 资源科学, 2012, 34(8): 1500-1507.
- [9] Dutta D, Das P K, Paul S, Sharma J R, Dadhwal V K. Assessment of ecological disturbance in the mangrove forest of Sundarbans caused by cyclones using MODIS time-series data (2001-2011). Natural Hazards, 2015, 79(2): 775-790.
- [10] 陈燕丽, 罗永明, 莫伟华, 莫建飞, 黄永磷, 丁美花. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 对气候因子响应差异. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1802-1812.
- [11] Otto M, Höpfner C, Curio J, Maussion F, Scherer D. Assessing vegetation response to precipitation in northwest Morocco during the last decade: an application of MODIS NDVI and high resolution reanalysis data. Theoretical and Applied Climatology, 2016, 123(1/2): 23-41.
- [12] Qiu B W, Zeng C Y, Tang Z H, Chen C C. Characterizing spatiotemporal non-stationarity in vegetation dynamics in China using MODIS EVI dataset. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(11): 9019-9035.
- [13] 李文梅, 覃志豪, 李文娟, 杨强. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 的比较分析. 遥感信息, 2010, (6): 73-78.
- [14] 王正兴, 刘闯, Huete A. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI. 生态学报, 2003, 23(5): 979-987.
- [15] 李红军, 郑力, 雷玉平, 李春强, 周戡. 基于 EOS/MODIS 数据的 NDVI 与 EVI 比较研究. 地理科学进展, 2007, 26(1): 26-32.
- [16] 左丽君, 张增祥, 董婷婷, 汪潇. MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 在耕地信息提取中的应用及对比分析. 农业工程学报, 2008, 24(3): 167-172.
- [17] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 刚成诚, 周伟, 居为民. 2001-2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征. 地理学报, 2012, 67(9): 1255-1268.
- [18] 童晓伟, 王克林, 岳跃民, 廖楚杰, 徐艳芳, 朱海涛. 桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应. 生态学报, 2014, 34(12): 3425-3434.
- [19] Levin N. Human factors explain the majority of MODIS-derived trends in vegetation cover in Israel: a densely populated country in the eastern Mediterranean. Regional Environmental Change, 2016, 16(4): 1197-1211.
- [20] 陈利顶, 杨爽, 冯晓明. 土地利用变化的地形梯度特征与空间扩展——以北京市海淀区和延庆县为例. 地理研究, 2008, 27(6): 1225-1233.
- [21] 马士彬, 张勇荣, 安裕伦. 山区城市土地利用动态空间分布特征——以贵州省六盘水市为例. 自然资源学报, 2012, 27(3): 489-496.
- [22] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 周为峰. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算. 资源科学, 2004, 26(4): 153-159.
- [23] 赵丽苹. 基于 MODIS 数据的喀斯特地区石漠化时空演变特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [24] 张竞竞, 郭志富, 李治国. 河南水旱灾害危险性时空特征研究. 自然资源学报, 2013, 28(6): 957-968.
- [25] 韦开, 王全九, 周蓓蓓, 何斌. 基于降水距平百分率的陕西省干旱时空分布特征. 水土保持学报, 2017, 31(1): 318-322.
- [26] 闫峰, 吴波, 王艳姣. 2000—2011 年毛乌素沙地植被生长状况时空变化特征. 地理科学, 2013, 33(5): 602-608.
- [27] 潘竞虎, 黄克军, 李真. 2001-2010 年疏勒河流域植被净初级生产力时空变化及其与气候因子的关系. 生态学报, 2017, 37(6): 1888-1899.
- [28] Wang Y F, Shen Y J, Chen Y N, Guo Y. Vegetation dynamics and their response to hydroclimatic factors in the Tarim River Basin, China. Ecohydrology, 2013, 6(6): 927-936.
- [29] 喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究. 地理科学, 2001, 21(1): 64-69.