

近 21 年吴忠市植被覆盖时空变化及气候驱动力分析

王军川¹, 林中雪², 马娟利¹, 李治苇¹, 徐来超¹, 刘源³, 张萍¹, 曹兵^{4*}

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏

大学生命科学学院, 宁夏银川 750021; 3. 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心, 内蒙古磴口 015200; 4. 宁夏大学研究生院, 宁夏银川 750021)

摘要 基于 Google Earth Engine(GEE)云计算平台,利用像元二分模型法计算得到了吴忠市 2000—2020 年年均植被覆盖度(FVC),同时获取了各年年均气温、年降水量数据,通过分析揭示了该市近 21 年植被覆盖度的时空变化特征,并进行了气候驱动力分析。结果表明,在时间上,近 21 年吴忠市植被覆盖度变化整体上呈稳中向好趋势,且该市已由低植被覆盖度地区转变为中植被覆盖度地区,各县级地区与全市整体变化情况基本相同。在空间上,全市植被覆盖度主要呈现南部增大而北部减小或不不变的趋势;全市植被在全局呈集聚趋势。植被覆盖度与年降水量呈线性正相关,而气温对植被覆盖度影响不大。

关键词 植被覆盖度;时空变化;空间自相关;气候驱动力;吴忠市

中图分类号 S 181 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)02-0090-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.02.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Temporal and Spatial Changes of Vegetation Cover and Climate Driving Force in Wuzhong in Recent 21 years

WANG Jun-chuan¹, LIN Zhong-xue², MA Juan-li¹ et al (1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract Based on Google Earth Engine (GEE) cloud computing platform, the annual average vegetation coverage (FVC) of Wuzhong City from 2000 to 2020 was calculated by pixel dichotomy model method, and the annual average temperature and annual precipitation data of each year were obtained. Through analysis, the spatio-temporal change characteristics of vegetation coverage in the city in recent 21 years were revealed, and the climate driving force was analyzed. The results showed that from the perspective of time, the change of vegetation coverage in Wuzhong City had generally shown a stable and positive trend in the past 21 years, and the city had changed from low vegetation coverage to medium vegetation coverage area. The changes in the county and the city were basically the same. Spatially, the vegetation coverage in the whole city mainly showed a trend of increasing in the south and decreasing or unchanged in the north; the global vegetation in the whole city showed a trend of agglomeration. There was a linear positive correlation between vegetation coverage and annual precipitation, while temperature had little effect on vegetation coverage.

Key words Vegetation coverage; Temporal and spatial changes; Spatial autocorrelation; Climate driver; Wuzhong City

植被作为生产者是生态系统的基础组成部分,植被覆盖度(FVC)是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区面积的百分比^[1],对其定量计算的应用使其成为衡量植被状况的重要指标之一。以植被覆盖度为指标研究植被的变化特征,已成为评价某一地区生态系统健康的必要条件。目前,国内外对植被覆盖度的研究已经十分成熟,最为常用的方法是利用植被指数估算植被盖度,这种以遥感手段为依托的快捷方法已成为当前区域生态建设和监测等的重要手段。Park 等^[2]分析了韩国河岸带植被的时空变化情况;张彦彬等^[3]基于 MODIS 数据,揭示了山西省六大煤田区的植被时空变化情况,并进行驱动力分析。上述研究都表明气候因素在植被覆盖度时空变化中扮演重要角色。

宁夏吴忠市位于黄河流域上游,有着丰富的自然资源,但 21 世纪以来该市部分地区人为破坏植被导致的生态环境问题频发。鉴于此,笔者选择该市为研究区,借助 Google Earth Engine(GEE)平台海量的地理空间数据,揭示全市植被的时空变化规律,并进行气候驱动力分析,以期在当地植被恢复对策和保护措施提供一定参考。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

吴忠市位于宁夏回族自治区东部,占地面

积 2.14 万 km²,地理坐标为 105°17'~107°47'E,36°34'~38°15'N,下辖 2 区、1 市、2 县(图 1)。该市属中温带大陆性气候,年平均气温 10℃左右,年均降水量 200 mm 以上,年均蒸发量 2 000 mm 左右。植被类型丰富多样。

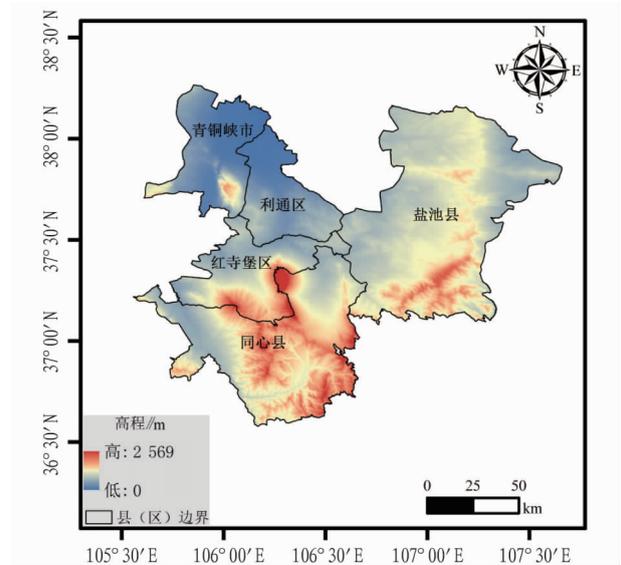


图 1 吴忠市地理位置

Fig.1 Geographical location of Wuzhong City

基金项目 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2019BFG02024)。

作者简介 王军川(1993—),男,宁夏盐池人,硕士研究生,研究方向:水土保持与荒漠化防治。*通信作者,教授,博士,博士生导师,从事干旱区森林培育和经济林方面的教学与研究工作。

收稿日期 2022-03-26;修回日期 2022-04-22

1.2 数据来源 通过编程语言 JavaScript 调用 GEE 平台数据库中免费提供的美国陆地卫星中 5 号(专题制图仪, TM)和 8 号(陆地成像仪, OLI)的地表反射率(surface reflectance,

SR)数据产品,这 2 颗卫星的运转周期都为 16 d,空间分辨率为 30 m。筛选成像时间为目标年份遥感影像(已经经过几何校正、大气校正等),为了进一步消除云层与积雪的影响,需要对影像数据进行去云处理后以中值合成最小云量影像,最终通过计算公式获取目标年份植被覆盖度数据。各年年均气温、年降水量来源于国家环境预测中心(NCEP)气候预测系统(CFS),也通过在 GEE 里代码调用实现。

1.3 研究方法

1.3.1 像元二分模型法。该研究的植被覆盖度计算基于像元二分模型^[4]。原理是将一个影像中任一像元的值由有植被覆盖部分地表和无植被覆盖部分地表组成的形式来表示,最后得到的植被覆盖度公式如下:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}}$$

式中,NDVI 为像元归一化植被指数,NDVI_{soil} 为无植被或裸土像元的 NDVI,NDVI_{veg} 为纯植被像元的 NDVI。结合研究区实际状况,该研究提取累计频率为 0.5% 以内的所有值计算平均值作为 NDVI_{soil},提取累计频率为 99.5% 以上的所有值计算平均值作为 NDVI_{veg}。

1.3.2 空间自相关分析。这种分析方法的原理是确定某一变量是否在空间上相关,其相关程度如何。一般情况,一个变量的值会随着测定距离的变化而变化,如果测定距离缩小而变量的测定值更为不同则表现为空间负相关;反之如果测定距离缩小而变量的测定值更为相似则表现为空间正相关;当测定值没有空间依赖性则表现出空间随机性或没有空间相关性。

莫兰指数一般是用来度量全局空间相关性的重要指标,其值为-1~1。值为正数表示空间正相关性,越接近 1,表明空间相关性越明显;值为负表示空间负相关性,其值接近-1,表明空间差异越大;值为 0 时空间呈随机性^[5]。分析后得到 *p* 值表示这一聚集过程随机创建的概率,接近 0,说明聚集的随机性概率极低;*z* 值就是标准差的倍数,也可表示离散程度。

热点分析是构建在统计推断中常用的零假设检验的思想之上的,是一种分析变量空间分布聚集程度的分析方法^[6]。ArcGIS 中的热点分析工具的目标就是识别出具有统计显著性聚类的区域,能显著聚类就说明存在空间上的相关性。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度年际变化 从图 2 可以看出,2000—2020 年吴忠市年均 FVC 变化起伏不定,只有 2002—2004、2009—2011 年 2 个阶段 FVC 趋于相对稳定状态,3 年平均值分别为 0.245 6 和 0.270 3。FVC 从 2000 年的 0.191 6 增长至 2020 年的 0.311 7,增大了约 0.120 1,整体上呈增长趋势。FVC 较大的年份是 2013 年和 2016—2020 年,其中 2018 年达到了极值。同时,根据宁夏的植被覆盖度划分等级^[7]可以看出,近 21 年吴忠市已从低植被覆盖度区转为中植被覆盖度区。

2.2 植被覆盖度空间变化

2.2.1 整体与局部。从图 3 可以看出,全市年均 FVC 空间分

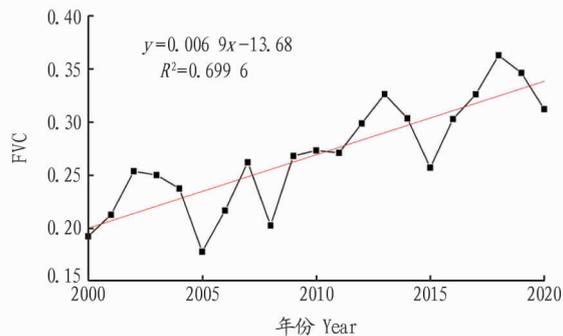


图 2 2000—2020 年吴忠市年均 FVC 变化

Fig.2 Change of annual average FVC in Wuzhong City from 2000 to 2020

布规律主要为减小的地区在北部居多,基本不变的地区集中在青铜峡市和利通区的中北部地区,而吴忠市南部和中部地区大多呈增大趋势。各县级地区具体情况:青铜峡市 FVC 减小的区域较多,其他县区增大的区域较多,特别是红寺堡区和同心县,而盐池县和利通区呈现与整个吴忠市相同的变化趋势,即南增北减。

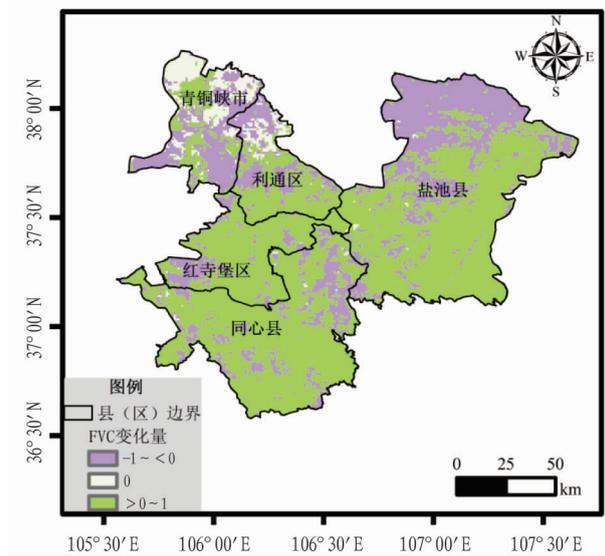


图 3 2000—2020 年吴忠市平均 FVC 空间分布

Fig.3 The spatial distribution of mean FVC in Wuzhong City from 2000 to 2020

吴忠市各县级地区每 5 年各年份 FVC 变化情况如表 1 所示,近 21 年各县级地区 FVC 整体上均有所增加,其中红寺堡区的增长量最大,达 0.177 2,青铜峡市的增量最小,为 0.088 5。2000—2005 年,除青铜峡市外,其余县区的 FVC 均呈减小趋势;2005—2010 年 5 个县级地区均明显增大趋势;2010—2015 年盐池县、红寺堡区、同心县 FVC 呈减小趋势,而利通区和青铜峡市则呈增大趋势;2015—2020 年各地区 FVC 均显著增大。截至 2020 年,吴忠市各县区全部成为中植被覆盖度地区,植被覆盖度从大到小依次为盐池县>利通区>青铜峡市>同心县>红寺堡区。

2.2.2 空间聚集性。该研究先对 2020 年吴忠市植被覆盖度进行莫兰指数分析,结果发现,莫兰指数为 0.225 43,表明吴忠市

植被覆盖度在全局呈集聚趋势; p 值为 0, z 值为 65 左右,但方差很小,表明该市植被覆盖度聚集的随机性概率极低。

通过热点分析,得出吴忠市的植被覆盖度高值、低值以及高低值分布情况(图 4),从图 4 可以看出,面积上呈现出冷点区域>热点区域>不明显区域,热点区域主要分布在吴忠市西部,特别是西北部部分区域(青铜峡市东北部和利通区北部)显示了极高的聚集性,其次是红寺堡区北部和同心县西部部分区域,盐池县只有中心一小片区域呈现聚集。

表 1 吴忠市各县级地区年均 FVC 变化情况

Table 1 Annual average FVC in each county area of Wuzhong City

年份 Year	盐池县 Yanchi County	利通区 Litong area	红寺堡区 Hongsipao District	青铜峡市 Qingtongxia City	同心县 Tongxin County
2000	0.274 7	0.263 4	0.141 4	0.271 0	0.179 0
2005	0.236 4	0.235 7	0.137 8	0.278 6	0.153 2
2010	0.337 5	0.320 1	0.256 9	0.312 1	0.253 1
2015	0.316 3	0.338 1	0.254 1	0.345 5	0.223 5
2020	0.383 0	0.381 4	0.318 6	0.359 5	0.319 1

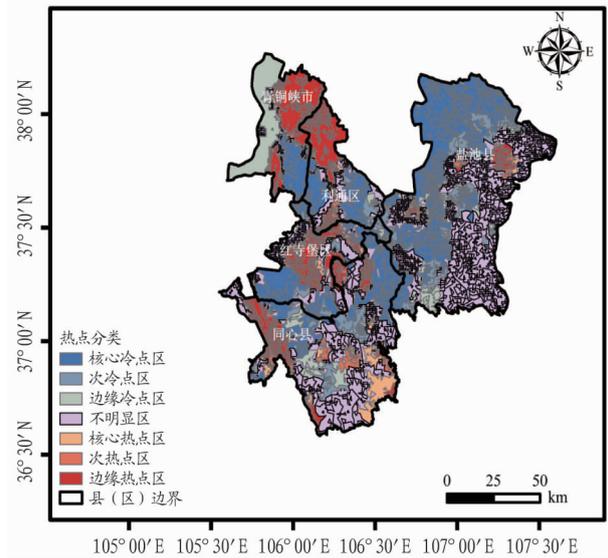


图 4 吴忠市植被覆盖度热点分布

Fig.4 Distribution of hot spots of FVC in Wuzhong

2.3 气候驱动力分析 吴忠市植被覆盖度与气温之间的相关性如图 5 所示,二者整体呈线性负相关,植被覆盖度随着气温的升高而减少,两者决定系数(R^2)为 0.156。近 21 年气温整体在 11~13℃,年均温为 11.65℃。

植被覆盖度与降水之间的相关性如图 6 所示,二者呈线性正相关,植被覆盖度随着降雨量的增加而增加,两者决定系数(R^2)为 0.450($P<0.05$)。降雨量整体在 150~400 mm,21 年间平均降雨量为 289 mm。

3 讨论

近 21 年吴忠市植被覆盖度整体呈稳中向好趋势,其主要有以下 2 个方面原因:一方面,植被的生长发育离不开水,该研究发现该市植被覆盖度与降水量呈线性正相关,即随着降水量增加,植被覆盖度越大;另一方面,众多研究表明,人为因素对植被变化的影响程度很大^[8-11]。从政策来讲,2003

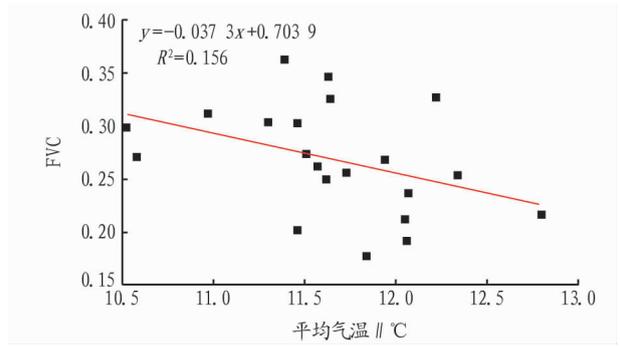


图 5 年均气温与植被覆盖度的关系

Fig.5 Correlation between annual average temperature and FVC

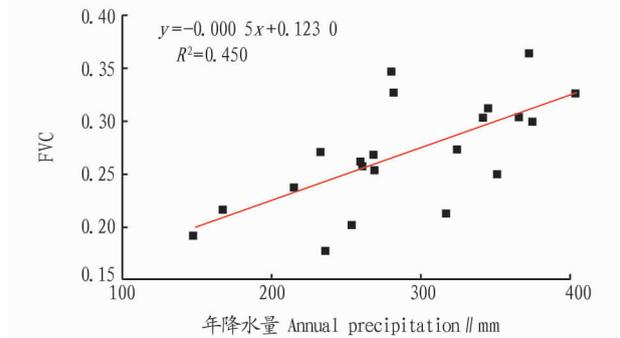


图 6 年降水量与植被覆盖度的关系

Fig.6 Correlation between annual precipitation and FVC

年以来宁夏成为我国第 3 个实行全境禁牧的省区^[12],而吴忠市部分地区正好处于农牧交错带,禁牧必然对植被生长发育起促进作用;之后的数年里,人们越加认识到生态文明建设的重要性,建立自然保护区、退耕还林还草等各类植被恢复与保护措施层出不穷。

4 结论

(1)从时间上看,近 21 年吴忠市植被生长良好,植被覆盖度整体上呈增长趋势,且该市已由低植被覆盖度地区转变为中植被覆盖度地区,各县级地区的植被覆盖度整体上变化趋势与全市情况大致相同。

(2)从空间上看,近 21 年全市植被覆盖度主要呈现南部整体增大、北部减小或不变的趋势。减小区域主要以青铜峡市、利通区和盐池县为主,基本不变区域集中在青铜峡市和利通区。其中,同心县和红寺堡区整个地区都以植被覆盖度增大为主,利通区和盐池县空间上变化相似,主要呈现南增北减趋势,而青铜峡市植被覆盖度以减小和不变地区居多。全市植被覆盖度在全局呈集聚趋势,但聚集的随机性概率极低。

(3)年均植被覆盖度与年降水量有一定关系,呈线性正相关($R^2 = 0.450$),而气温对植被覆盖度影响不大。

参考文献

- [1] 丁佩燕.近 15 年古尔班通古特沙漠植被覆盖度时空变化研究[J].新疆林业,2017(4):18-21.
- [2] PARK H,KIM J G.Temporal and spatial variations of vegetation in a riparian zone of South Korea[J].Journal of ecology and environment,2020,44(1):1-10.

(下转第 98 页)

4 结论

该研究显示,研究区6种土地利用类型C、N、P、K及其化学计量特征表明,土层深度和土地利用类型对土壤SOC、TN、TP、TK均有一定程度影响,土壤SOC、TN、TK较P更易受到土层深度和土地利用方式的影响。针阔混交林和针叶林对研究区土壤质量的改善具有积极作用。研究区6种土地利用类型土壤C/N较其他指标变异较小,且C/N低于贵州省表层土壤C/N平均水平,研究区有机质矿化作用缓慢。N/P均低于全国平均水平及贵州省表层土壤平均水平,研究区土壤表现为氮素缺乏。不同土地利用类型的土壤C、N、P、K与其计量比具有较强的耦合关系。研究区土壤C/N、C/P、C/K主要受SOC控制,N/P和N/K主要由TN控制,P/K主要受到TK含量的影响。

参考文献

- [1] 肖强, 肖洋, 欧阳志云, 等. 重庆市森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 216-223.
- [2] 骆玉珍, 张维维, 李雅颖, 等. 上海市公园绿地土壤肥力特征分析与综合评价[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 86-93.
- [3] MOREL J L, CHENU C, LORENZ K. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAS) [J]. Journal of soils & sediments, 2015, 15(8): 1659-1666.
- [4] 陶晓, 俞元春, 张云彬, 等. 城市森林土壤碳氮磷含量及其生态化学计量特征[J]. 生态环境学报, 2020, 29(1): 88-96.
- [5] SARDANS J, JANSSENS I A, CIAIS P, et al. Recent advances and future research in ecological stoichiometry [J]. Perspectives in plant ecology, evolution and systematics, 2021, 50: 1-24.
- [6] JIANG P P, CHEN Y M, CAO Y C. N:P stoichiometry and carbon storage in a naturally regenerated secondary *Quercus variabilis* forest age sequence in the Qinling Mountains, China [J]. Forests, 2017, 8(8): 1-17.
- [7] DU C J, GAO Y H. Grazing exclusion alters ecological stoichiometry of plant and soil in degraded alpine grassland [J/OL]. Agriculture, ecosystems & environment, 2021, 308 [2021-09-27]. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107256.
- [8] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [9] 唐高溶, 郑伟, 王祥, 等. 喀纳斯景区山地草甸不同退化阶段群落共有种的生态化学计量特征研究[J]. 草业学报, 2016, 25(12): 63-75.
- [10] 吴昊, 邹梦茹, 王思宇, 等. 秦岭松栎林土壤生态化学计量特征及其对海拔梯度的响应[J]. 生态环境学报, 2019, 28(12): 2323-2331.
- [11] HUI D F, YANG X T, DENG Q, et al. Soil C:N:P stoichiometry in tropical forests on Hainan Island of China: Spatial and vertical variations [J]. CATENA, 2021, 201: 1-10.

- [12] 李培玺, 储炳银, 滕臻, 等. 巢湖湖滨带不同植被类型土壤碳氮磷生态化学计量学特征[J]. 草业科学, 2020, 37(8): 1448-1457.
- [13] 李丹维, 王紫泉, 田海霞, 等. 太白山不同海拔土壤碳、氮、磷含量及生态化学计量特征[J]. 土壤学报, 2017, 54(1): 160-170.
- [14] 王慧, 郭月峰, 姚云峰, 等. 不同土地利用方式下土壤碳氮磷化学计量特征[J]. 西南农业学报, 2020, 33(5): 995-1000.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 李占斌, 周波, 马田田, 等. 黄土丘陵区生态治理对土壤碳氮磷及其化学计量特征的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 312-318.
- [17] 曹祥会, 龙怀玉, 周脚跟, 等. 中温-暖温带表土碳氮磷生态化学计量特征的空间变异性: 以河北省为例[J]. 生态学报, 2017, 37(18): 6053-6063.
- [18] MCGRODDY M E, DAUFRESNE T, HEDIN L O. Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial redfield-type ratios [J]. Ecology, 2004, 85(9): 2390-2401.
- [19] 连玉珍, 曹丽花, 刘合满, 等. 色季拉山西坡高海拔区土壤养分含量及化学计量特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(1): 140-150.
- [20] FENG D F, BAO W K, PANG X Y. Consistent profile pattern and spatial variation of soil C/N/P stoichiometric ratios in the subalpine forests [J]. Journal of soils and sediments, 2017, 17(8): 2054-2065.
- [21] TIAN H Q, CHEN G S, ZHANG C, et al. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: A synthesis of observational data [J]. Biogeochemistry, 2010, 98(1): 139-151.
- [22] 秦娟, 许克福. 我国城市绿地土壤质量研究综述与展望[J]. 生态科学, 2018, 37(1): 200-210.
- [23] 侯堂春, 喻阳华, 钟欣平. 贵州省表土生态化学计量特征[J]. 西南农业学报, 2020, 33(10): 2310-2315.
- [24] 王辽宏, 邱莉萍, 高海龙, 等. 农牧交错带本氏针茅坡地土壤-植物系统磷素分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1192-1199.
- [25] 宁志英, 李玉霖, 杨红玲, 等. 沙化草地土壤碳氮磷化学计量特征及其对植被生产力和多样性的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(10): 3537-3546.
- [26] 邓小军, 曹继钊, 宋贤冲, 等. 猫儿山自然保护区3种森林类型土壤养分垂直分布特征[J]. 生态科学, 2014, 33(6): 1129-1134.
- [27] 杨丹丽, 喻阳华, 秦仕亿, 等. 石漠化区不同利用类型土地养分的含量及其生态化学计量特征[J]. 西南农业学报, 2018, 31(9): 1875-1881.
- [28] 余道, 刘子琦, 喻阳华, 等. 黔西南石漠化区不同群落土壤碳氮磷垂直分异及化学计量特征[J]. 西南农业学报, 2021, 34(10): 2231-2239.
- [29] 王璐, 喻阳华, 邢容容, 等. 喀斯特高原山区主要人工林土壤生态化学计量特征[J]. 南方农业学报, 2017, 48(8): 1388-1394.
- [30] 朱秋莲, 邢肖毅, 张宏, 等. 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4674-4682.
- [31] 李江荣, 高郑, 郑维列, 等. 急尖长苞冷杉4种林型土壤养分特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(11): 108-119.
- [32] 俞月凤, 彭晚霞, 宋同清, 等. 喀斯特峰丛洼地不同森林类型植物和土壤C、N、P化学计量特征[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 947-954.
- [33] TESSIER J T, RAYNAL D J. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation [J]. Journal of applied ecology, 2003, 40(3): 523-534.

(上接第92页)

- [3] 张彦彬, 安楠, 刘佩艳, 等. 基于MODIS数据的山西省六大煤田区植被覆盖度时空变化特征及其驱动力分析[J]. 干旱区地理, 2016, 39(1): 162-170.
- [4] 赵秀霞, 楚新正, 马晓飞, 等. 基于像元二分模型的艾比湖湿地NDVI指数对微气候的响应[J]. 草业科学, 2017, 34(6): 1168-1177.
- [5] 韩雪莹. 近30年毛乌素沙地沙漠化土地时空动态变化及其自相关研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [6] 邹彬. 西安市植被覆盖度冷热点时空动态变化及其风险分析[J]. 西安理工大学学报, 2020, 36(2): 197-204.
- [7] 陈晓光, 李剑萍, 韩颖娟, 等. 宁夏近20年来植被覆盖度及其与气温降

- 水的关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1375-1383.
- [8] 何清芸, 牟风云, 李秋彦, 等. 重庆植被覆盖度时空演变及驱动力地理学探究[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(28): 11955-11962.
- [9] 晋成名, 杨兴旺, 景海涛. 基于RS的陕北地区植被覆盖度变化及驱动力研究[J]. 自然资源遥感, 2021, 33(4): 258-264.
- [10] 高鹏文, 阿里木江·卡斯木, 赵永玉, 等. 1988—2018年哈密绿洲植被覆盖度时空变化及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 273-280, 287.
- [11] 彭晶晶, 闫如柳. 湖南省植被覆盖度动态变化监测及影响因素分析[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(7): 51-54.
- [12] 封山禁牧成为中国西部地区生态恢复的有效途径[J]. 农村实用技术, 2009(8): 27.