doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.06.025

基于分形理论的园林观赏植物高效益生态化布局模拟

徐作梅
(西安财经大学 行知学院,陕西 西安 710038)

摘要:为提高生态景观布局的文化内涵和吸引力,在分形理论支持下构建观赏植物高效益配置机制。在 GIS 平台以结构规划、维数计算、植物配置为中介机制,实现功能分区层次性、植物配置生态化、植物多样性的高效益生态化期望效益,达到局部生态景观元素与空间整体自相似统一。结果表明,公园各区域植物景观的分形维数范围在 1.24~1.36 范围,分形维数小于 1.5,表明该方法能有效促进园林公园空间结构的稳定性。基于分形理论的配置机制能够提升园林空间结构稳定性和生态化水平,实现人文景观与自然环境的和谐共存。

关键词:园林观赏植物;高效益生态化布局;分形理论;分形维数;生态化设计;多样性设计

中图分类号:TU986.34 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2025)06-0188-06

引文格式:徐作梅. 基于分形理论的园林观赏植物高效益生态化布局模拟[J]. 林业调查规划,2025,50(6):188-193. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.06.025

XU Zuomei. Simulation of High-Efficiency Ecological Layout for Ornamental Plants in Gardens Based on Fractal Theory [J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(6): 188-193. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2025.06.025

Simulation of High-Efficiency Ecological Layout for Ornamental Plants in Gardens Based on Fractal Theory

XU Zuomei
(Xingzhi College of Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710038, China)

Abstract: To enhance the cultural connotation and attractiveness of ecological landscape layout, a high-efficiency allocation mechanism for ornamental plants was constructed with the support of fractal theory. By using structural planning, dimension calculation, and species configuration as intermediary mechanisms on the GIS platform, the high-efficiency ecological expected benefits of functional zoning hierarchy, ecological plant configuration, and plant diversity were achieved, realizing the self-similar unity between local ecological landscape elements and the overall space. The results showed that the fractal dimension range of plant landscapes in various areas of the park was between 1.24 and 1.36, which was less than 1.5, indicating that this method could effectively promote the stability of the spatial structure of garden parks. The configuration mechanism based on fractal theory could improve the stability and ecological level of garden spatial structure, and achieve harmonious coexistence of humanistic landscapes and natural environment.

Key words: garden ornamental plants; high-efficiency ecological layout; fractal theory; fractal dimension; ecological design; diversity design

收稿日期:2024-06-06;**修回日期**:2024-06-28

第一作者:徐作梅(1987-),女,硕士,副教授. 主要从事环境空间规划与设计. Email:xuzuomei1987@xaufe.edu.cn

在城市空间中,现有景观布置不断优化,景观布局的协调与统一必须从宏观角度入手,以提高人与自然的协调关系以及满足城市居民的心理需求[1-2]。为实现这一目标,应结合传统景观设计理论,综合分析气候、水文、植被和人文等环境因素对景观规划的影响,构建具有丰富内涵和功能的景观配置布局方案[3]。

分形理论强调自相似性和层次性,可以更好地理解和模拟自然界中的形态和结构,近年来逐渐引起风景园林设计领域的关注。基于分形理论的植物配置可以实现景观的高效益布局,提高景观的多样性和稳定性[4-5]。例如,分形理论可以用来指导水流、地形、建筑物等场景元素的布局,实现流淌的曲折性和一致性,同时注重植物的个性化和相似性[6]。分形原理的应用可将人与自然有机结合,加强植物配置的生态化布局。分形理论在景观设计中的实践,加强了生态环境可持续设计的严谨度[7],近几年广泛用于景观设计与配置领域,形成一股新的生态环境优化设计驱动力。

本次研究的创新性在于将分形理论与 GIS 平台结合应用于园林景观布局优化中,实现了园林中植物的合理配置,提高了园林生态系统的稳定性。

1 基于分形理论的园林观赏植物高效益配置机制的构建

1.1 GIS 平台园林观赏植物布局模拟

GIS 平台可提供空间数据存储、管理和分析功能。通过 GIS 平台,可对植物生态环境、分布和空间关系进行分析和模拟,实现科学和精确的植物配置。

1.1.1 地形设计

在园林景观的原始场地与设计中,向 GIS 平台导入等高线相关数据后,在 3D Analyst 模块下操作生成不规则三角网模式的 TIN 地形数据视图,完成视图像向栅格地表模型的转变[8]。以栅格计算器为工具实现地形填挖栅格计算,步骤如下:(1)将高程模型转换为以厘米为单位,为填、挖方操作做准备[9-10];(2)将栅格单元超过 0 的部分定义为“填方”(颜色浅),将栅格单元低于 0 的部分定义为“挖方”(颜色深)。同样在 GIS 平台中完成植物、水流等生态元素的模拟,过程与地形设计过程相同,在此不做赘述。

基于 GIS 的地形高程模型设计局部效果如图 1 所示。

所设计的高程模型能够准确描述地形的跌宕起伏,辅助完成景观格局的优化配置与布局。

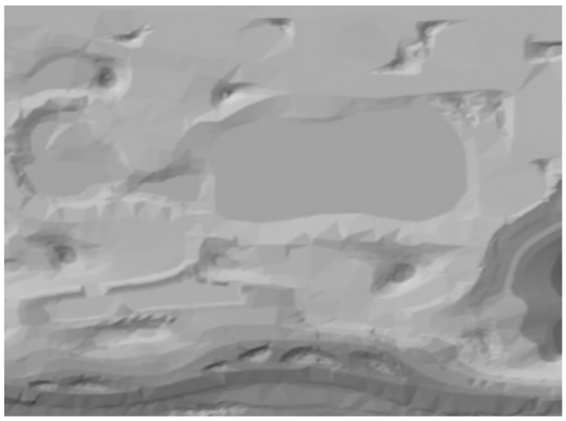


图 1　基于 GIS 的地形高程模型设计局部效果

Fig. 1　Partial effect of terrain elevation model design based on GIS

1.1.2 植物的矢量数据预处理与应用分析

观赏植物布局模拟的矢量数据需做如下处理:(1)将观赏植物元素原始 CAD 模型导入 GIS 平台,转换为植物布局模拟待用的三维模型;(2)在 GIS 中对不同类型的模型栅格数据进行补全、删除、清洗等预处理操作[11-13];(3)在 Arc Map 10.2 平台中处理图件、统计数据[14-15]。

1.2 园林观赏植物高效益配置机制

借鉴分形理论中的分形结构、分形组织、分形元素理论,在其支持下规划植物结构、计算维数、配置观赏植物种类,从而实现园林公园景观的高效益、生态化布局配置。研究从“平面、立面、装饰方面[7]”着手:首先,基于分形理论中的自相似性对内部形态实施分解与形态再生[16-17],空间景观设计基本原则不变,将整体与局部统一规划,包括整合景观空间整体功能、对不同功能区域分形。其次,明确研究对象的块面结构,完善观赏植物的立面细节,将平面、立面细节统一与融合。

根据功能分区层次性、植物配置生态化和植物种植多样性 3 个基本目标,采用分形理论,并考虑园林景观规划设计中的自然属性和社会属性,从分形结构、分形组织和分形元素 3 方面对园林观赏植物进行配置[18],构建分形理论驱动下的园林观赏植物高效益配置机制(图 2)。

由图 2 可知,可通过分形结构理论规划园林观赏植物配置结构,并计算植物配置的分形维数,同时,以分形元素理论为指导设计植物配置。该机制将结构规划、维数计算、物种配置作为中介机制,以实现对象的园林观赏植物配置效益。园林中观赏植物高效益包括功能分区层次性、植物配置生态化以

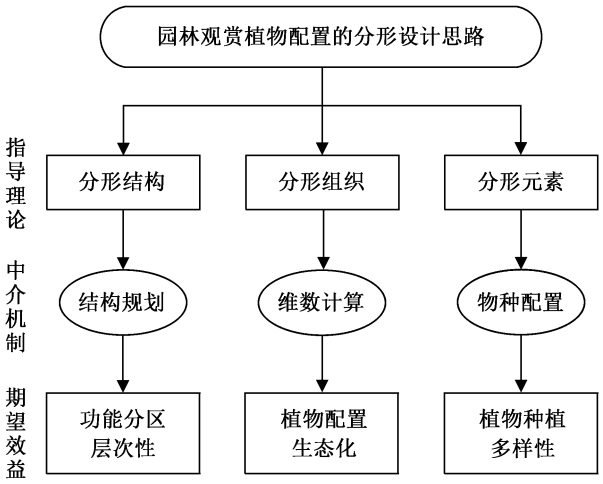


图 2 分形理论驱动下园林观赏植物高效益配置机制

Fig. 2 High-efficiency configuration mechanism of garden ornamental plants driven by fractal theory

及植物种植多样性。其中,功能分区层次性是指将景观空间划分为不同的区域来满足人们的需求。植物配置生态化是指按照生态学合理搭配和布局植物,使配置植物和谐共存。植物种植多样性,即种植多种植物,从而营造生态多样性,提高整体生态稳定性。

1.2.1 基于分形结构的功能分区层次性设计

“缩放并置布局”与“嵌套布局”是分形理论对观赏植物景观结构布局的关键手段。

1)缩放并置布局

为实现植物群体自相似性、尺度层次丰富性,对其实施“并置”,坚持“形尺度层级”原则,采用特定方法组合形态存在差异但外观较一致的植物形体,也增加了植物外观统一性,提升了内部形态的多元化。

2)嵌套布局

为保障观赏植物在空间层次上的嵌套和迭代、局部和整体的自相似统一,将同一植物元素实施重复性叠加(相同叠加行为或不同叠加行为),以差异性尺度空间为场所[19-20]。嵌套布局法分为自由嵌套与非自由嵌套,自由嵌套布局是指元素能够自由摆放,而非自由嵌套布局中元素的摆放则会受到一些限制。其中,自由嵌套布局法更具创新特质,可满足设计者和体验者的猎奇心理[21],同时自由嵌套布局法能够适应空间功能与环境因素的现实需求,打造优秀的自然分形形态。因此,本研究采用自由嵌套布局打造景观空间。

1.2.2 基于分形组织的植物配置生态化设计

为了评估植物配置的生态效果,研究使用分形维数和稳定性指数作为评价指标,以上述研究对象为例,对不同功能区域的植物配置进行分析和比较。首先使用 ArcGIS 软件将公园的植物景观卫星图转换为数字图像,然后使用 Photoshop 调整图像的对比度及去除杂质,以获得清晰的植物景观图像。下一步将图像分割为一系列不同尺度的小方块,并对每个尺度的小方块进行计数,统计每个尺度下覆盖植物的方块数量。最后根据盒计数结果,使用数学公式计算分形维数。植物配置的稳定性、复杂性可通过分形维数彰显[22-23],由此评估景观配置方案是否合理。

园林观赏植物景观分形维数模型公式为:

$$\ln A(r) = \frac{2}{D}\ln P(r) + C \tag{1}$$

式中:景观分形维数和研究尺度分别以 D、r 表示;图斑面积和周长分别用 A 和 P 表示,面积单位为 m^2,周长单位为 m;C 为常数项。

景观分形维数的理论值介于 1.0~2.0 范围,其值越大,说明景观越复杂。当景观分形维数为 1.5 时,说明景观斑块处于一种无规律的状态中,此时斑块状态最不稳定[9]。

植物景观遭受人为活动破坏越大,展现的斑块状态越规则。土地利用的稳定性和复杂性一般采用分形维数来衡量,公式(2)展现了稳定性指数与分形维数的关系:

$$SI = |1.5 - D| \tag{2}$$

式中:SI 为稳定性指数。

此公式基于计算直线斜率获得分形维数。理论上,分形维数的取值区间为[1,2];景观斑块越复杂,其 D 值越大。

基于公式(2)可知,D 值无限趋近 1.5 时,其对应的空间结构稳定性越差[8]。若 D 值超过 1.5,对应的景观斑块形状越复杂;D 值小于或者等于 1.5,对应的景观斑块形状较规则。可见,景观配置结构的稳定程度通过 SI 体现,D 值越小,则空间结构稳定的景观 SI 指数越大。

1.2.3 基于分形元素的植物多样性设计

亭廊建筑、植被、山水小品在园林观赏植物布局中可划分为分形元素。基于分形元素的植物多样性设计,即通过提炼设计主题和园林文化背后的深层内涵,通过分形手法和技术原理,在分散、重构和组合分形元素的前提下,获得符合园林观赏植物配置的文化分形,并将这种文化分形作为主要设计支撑不断放大,形成具有创新性的园林观赏植物配置方案,同时考虑元素与周边环境的自相似特性和动态平衡[24]。

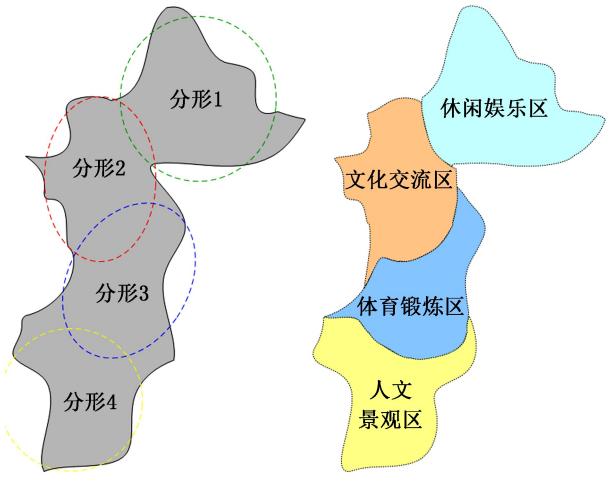
2 模型应用分析

2.1 研究区概况

研究区为待建设开发的园林公园。研究区位于城市中心区域,毗邻商业区和住宅区,面积约 10 hm^2。为对该区域进行景观规划设计,基于 GIS 平台与分形设计理论。根据“多样性”原则,将多样性植物群落景观、山石布景、水流等丰富的元素布局到生态化布局中;根据“可持续性”原则,利用多元化生态元素协同作用优化环境质量,提升土地利用率,最终实现经济效益、生态效益、社会效益的三者统一。

2.2 基于分形结构的功能分区层次性设计结果

采用研究中的缩放并置法、嵌套法模拟设计公园景观布局,分形设计效果如图 3 所示。



(a)分形嵌套处理　　(b)功能区域划分

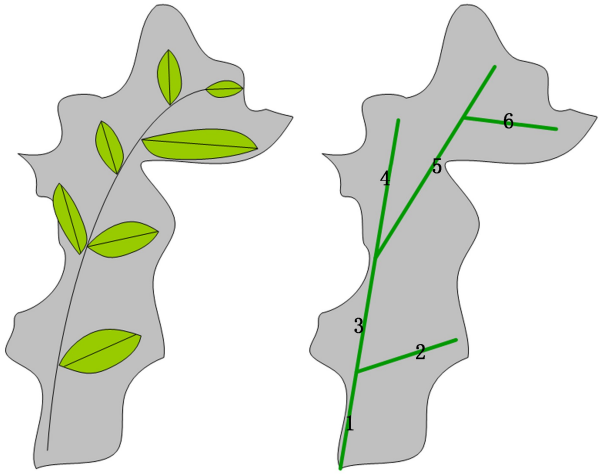
图 3　基于缩放并置布局法的景观分形设计

Fig. 3　Landscape fractal design based on scaling and juxtaposition layout method

公园规划了休闲娱乐区、体育锻炼区、人文景观区、文化交流区 4 个部分,能满足城市居民生活需求。各区域分形处理结果如图 4(a)所示,图 4(b)是经过“缩放并置”和“嵌套布局”提取的边界信息。

图 4 体现了功能分区、边界存在自相似性,各功能区域轮廓维度与公园边界轮廓达到了统一;其中,层次性有显著体现,如:人文景观、自然景观分别规划了不同的区域,既有统一又有融合。

景观布局的分形结构还体现在以“植物树叶”为原型(图 4(a))设计植物空间序列。景观布局起点是“树叶底部”,植物景观布局主路线即为“树叶主脉络”,缩放和嵌套操作后形成“叶脉式”植物景观规划格局(图 4(b))。该设计充分考虑公园整体植物配置,“叶脉式”植物景观格局充分降低沿竖向直线进行植物群落布局的单调性,实现了植物可持续性与植物布局多样性的双统一,也兼顾了布局层次性。4、5、6 支干为主要植物景观节点,1、2、3 支干为次要植物景观节点。1、2、3 支干主要分布在人文景观区内,主要目的为通过植物群落适当美化人文景观的游览环境,植物群落占地面积较小。4、5、6 支干分布在休闲娱乐区和文化交流区,均配置大量植物景观,营造绿色、健康的活动环境。体育锻炼区布局的植物群落景观较少,提供大量空间供居民进行体育活动。基于分形结构理论布局园林观赏植物景观格局,充分考虑居民活动需求,设计结果较科学。根据区域功能差异,合理配置植物景观,能够为居民营造出绿色、宜居的环境,为城市可持续发展创造条件。



(a)叶子原型　　(b)“叶脉式”植物景观格局

图 4　基于分形理论的园林公园植物景观布局

Fig. 4　Plant landscape layout of the garden park based on fractal theory

2.3 基于分形组织的植物配置生态化设计结果

基于分形组织的植物配置生态化设计结果如表 1 所示。

表 1　园林公园植物景观分形维数统计

Tab. 1　Fractal dimension statistics of plant landscapes in garden parks

区域类型	分形维数	稳定性指数
休闲娱乐区	1.3041	0.1959
体育锻炼区	1.2436	0.2564
人文景观区	1.3562	0.1438
文化交流区	1.3022	0.1978

公园各区域植物景观的分形维数基本持平，只有体育锻炼区分形维数未达到 1.3；4 个区域类型的分形维数均未超过 1.5，景观边界均较简单。人文景观区的分形维数最高（1.356 2），更接近 1.5，说明人文景观区结构稳定性不理想，体育锻炼区稳定性较为突出。

2.4 基于分形元素的植物多样性设计结果

研究区周边植物群落以杉木（*Cunninghamia lanceolata*（Lamb.）Hook）为主，颜色单一，缺少季相变化。为实现经济型林木种植，并考虑公园周边防火目标与生态屏障建设目标，在公园内构造层次丰富、物种多样的植物种植模式。上层林冠植物以资源丰富及适应性和抗性较强的乡土树种为主，如银杏（*Ginkgo biloba* L.）、枫香（*Liquidambar formosana* Hance）和麻栎（*Quercus acutissima* Carruth.）等，具有季相丰富、抗火防火等功能。中层植物设计以颜色丰富、季相变化显著为依据，种植杜鹃（*Rhododendron simsii* Planch.）、大叶黄杨（*Euonymus japonicus* Thunb.）和金叶女贞（*Ligustrum vicaryi* Rehder）等。地被植物以适应性强为主要需求，布局车前草（*Herba Plantaginis*）、麦冬（*Ophiopogon japonicus*）和桔梗（*Platycodon grandiflorus*）等植物。

根据水深差异，配置不同类型水生植物；在水位波动较大的水域配置水葱（*Scirpus tabernaemontani*）、美人蕉（*Canna indica* L.），其在水淹状态下可存活 20~30 d；在 0.4~1.2 m 水深处配置睡莲（*Nymphaea tetragona* Georgi）和荇菜（*Nymphoides peltata*）等植物；在浅水处配置千屈菜（*Lythrum salicaria* L.）和鸢尾（*Iris tectorum* Maxim.）等浅水植物。在陆地与水域过渡区域可种植喜阴耐湿植物，可在改善公园局部微气候的同时对水边裸露地面进行装饰和美化，提高植物配置的美观度和舒适度。同时保证植物配置的多样性，充分利用园林空间提高生态效益，从而提升环境质量。

3 结 论

公园作为城市绿色空间的重要组成部分，对于提供居民休闲娱乐和生态环境的需求越来越重要。然而，传统的园林观赏植物配置方法常常缺乏科学性，不利于城市空间的健康可持续发展。为此，以分形理论为支撑，以 GIS 平台为载体构建园林观赏植物的高效益配置机制，并在园林公园景观配置实验中取得了理想的布局效果。结果显示，生态性方面，本方法配置布局后的植物景观格局的分形维数差异较小，景观边界均比较简单。植物多样性方面，研究通过构造层次丰富、物种多样的植物种植模式，改善了公园周边植物群落以往的单一枯燥问题，可吸引更多体验者参与到城市空间活动中来。但是，研究尚存在仅针对特定研究对象进行分析的问题，后续将进一步验证和推广，并对植物配置生态化设计进一步细化和完善，以提高景观的可持续性和生态效益。

参考文献：

[1] 翁燕萍，陆金森，魏绪英，等. 基于 ArcGIS 的南昌市象湖湿地公园景观格局分析[J]. 江西农业大学学报，2018，40(3)：561-569.

[2] 李文博，邢震，林能强，等. 基于复合生态学理论的滨河景观规划设计[J]. 北方园艺，2018(16)：138-145.

[3] 刘司南，吕锐，王霞. 参数化风景园林设计的方法实践——以成都市环城生态区桂溪生态公园景观为例[J]. 中国园林，2017，33(5)：50-55.

[4] 张兴，徐洋洋，左西宇，等. 基于多重分形理论的再生水灌溉下土壤粒度分析[J]. 干旱地区农业研究，2023，41(6)：227-237.

[5] 郭兴月，王添，程圣东，等. 基于分形理论的土地利用时空格局变化——以嘉陵江流域为例[J]. 中国水土保持科学(中英文版)，2023，21(5)：9-18.

[6] 黄倩，谢德体，王三，等. 基于分形理论的乡村旅游地空间结构演化研究——以成都市星级农家乐为例[J]. 西南大学学报(自然科学版)，2022，44(5)：147-157.

[7] 魏绪英，蔡军火，叶英聪，等. 基于 GIS 的南昌市公园绿地景观格局分析与优化设计[J]. 应用生态学报，2018，29(9)：58-66.

[8] 张颖，朱忠礼，焦晨泰. 基于分形的海南岛东寨港红树林景观空间结构变化研究[J]. 遥感技术与应用，2022，37(5)：1179-1189.

[9] 刘宇航，陈春. 基于分形理论的土地利用类型——以重庆永川区为例[J]. 科学技术与工程，2020，20(34)：14004-14010.

[10] 热依拉·木民，玉米提·哈力克，塔依尔江·艾山，等. 基于分形维数的不同林龄新疆杨对土壤理化特性的影响分析[J]. 土壤通报，2018，49(2)：313-319.

[11] 谢贤健. 基于 GIS 和分形理论的沱江流域土地利用结构动态分析[J]. 土壤，2023，55(2)：433-440.

[12] 马红光，姜勤波，刘志强，等. 基于 GIS 系统 DEM 数据的雷达地杂波建模与仿真[J]. 现代雷达，2019，41(7)：44-48.

[13] 刘全謩，齐明亮，马啸宙，等. 基于遥感和 GIS 的洮河流域面源污染流域尺度模拟及防治对策研究[J]. 干旱区地理，2020，43(3)：153-161.

[14] 崔志华,杨昕雨. 基于 GIS 的南京市中山陵景区核心区域声景观评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(2):121-127.
[15] 陈鹏,元丽娇. 基于分形理论的城市空间结构及其影响因素研究——以贵阳市为例[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),2024,37(1):88-96.
[16] 刘慧民,宫思羽,邹铁安,等. 基于 GIS 技术规划城市节水型绿地系统的研究[J]. 农业工程学报,2019,35(6):287-295.
[17] 严军,王飞,蔡安哲,等. 基于分形理论的城市滨水景观天际线量化分析——以南京玄武湖东岸为例[J]. 现代城市研究,2017(11):45-50.
[18] 肖卓. 基于分形几何学的地景建筑空间设计策略研究[D]. 长沙:湖南大学,2016.
[19] 谭玮颐,周忠发,殷超,等. 基于分形理论的喀斯特地区土地利用结构研究——以贵州省平坝区为例[J]. 科技通报, 2019,35(4):45-51,81.
[20] 郁献军,过伟敏,贡雪. 基于分形理论的现代景观雕塑及其空间维度研究[J]. 艺术百家,2018,34(3):239-242,252.
[21] 于婧,陈艳红,彭婕,等. 基于 GIS 和 Fragstats 的土地生态质量综合评价研究——以湖北省仙桃市为例[J]. 生态学报,2020,40(9):2932-2943.
[22] 苏年. 基于分形理论的观光茶园景观规划设计研究——以广西龙胜福摩海茶园为例[D]. 桂林:桂林理工大学,2018.
[23] 张琦,夏继红,汪颖俊,等. 基于分形维数的中小河流滩地沉积物空间分布研究[J]. 水土保持研究,2019,26(2):370-373,380.
[24] 卢遥,张继贤,韩文立,等. 一种基于分形的地表覆盖产品质量评估空间抽样方法[J]. 测绘科学,2023,48(8):144-152,162.

责任编辑:许易琦

(上接第 95 页)

[18] 何可宜,沈亚文,冯继广,等. 植物残体输入改变对樟子松人工林土壤呼吸及其温度敏感性的影响[J]. 北京大学学报(自然科学版),2021,57(2):361-370.
[19] 陈燕丽,唐梅蓉,张会,等. 广西喀斯特地区植被覆盖度和净初级生产力对 SPEI 干旱指数的响应差异[J]. 干旱气象,2022,40(6):1042-1050.
[20] 中国气象局. 气象干旱等级:GB/T 20481—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
[21] 武荣盛,侯琼,杨玉辉,等. 多时间尺度气象干旱指数在内蒙古典型草原的适应性研究[J]. 干旱气象,2021,39(2):177-184.
[22] 易永力,翟卫东,王朋朋,等. 潘家口水库上游区域气候变化及对水库运行的影响[J]. 河北水利,2018(11):27-28.
[23] 张林林,陈铁喜. 1989—2018 年京津冀地区人体舒适度的变化特征[J]. 天津师范大学学报(自然科学版),2021,41(4):53-60.
[24] 苗正伟,徐利岗,路梅. 基于 SPEI 指数的京津冀地区干旱特征分析[J]. 人民黄河, 2018,40(7):51-62.
[25] 吴秀兰,段春锋,玛依拉·买买提艾力,等. 基于 MCI 的新疆近 60 a 干旱时空特征分析[J]. 干旱区研究,2022,39(1):75-83.
[26] 王小红,刘宪锋,孙高鹏,等. 2001—2020 年秦巴山区植被生产力对干旱的响应[J]. 应用生态学报,2022,33(8):2105-2112.
[27] 王耀斌,赵永华,韩磊,等. 2000—2015 年秦巴山区植被净初级生产力时空变化及其驱动因子[J]. 应用生态学报,2018,29(7):2373-2381.
[28] 王朋朋,薛思嘉,易永力,等. 潘家口水库上游面雨量气候特征及入库水量预测模型探究[J]. 海河水利,2021(4):39-44.
[29] 洪乐乐,沈艳,马红彬,等. 2000—2019 年宁夏植被净初级生产力时空变化及其驱动因素[J]. 应用生态学报,2022,33(10):2769-2776.
[30] 李梦婷,李春光. 1961—2020 年黄土高原地区气象干旱时空演变特征研究[J]. 人民珠江,2023,44(11):1-10.
[31] 张茹,宋孝斌,张继勋. 黄河流域植被净初级生产力对干旱和蒸散发的响应[J]. 水利水电技术(中英文),2022,53(9):57-69.

责任编辑:杨焌焓