

引文格式: 彭晓蕾, 张青峰, 王 睿, 等. 基于DEM的黄土高原地貌分形美学图案研究[J]. 地理信息世界, 2022, 29(1): 12-16.

基于DEM的黄土高原地貌分形美学图案研究

The Fractal Aesthetic Pattern of Loess Plateau Landform Based on DEM

彭晓蕾, 张青峰, 王 睿, 向昊黎, 唐溶荟, 张 锐

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目 (S202010712045)

作者简介: 彭晓蕾 (2000—), 女, 陕西汉中人, 地理信息专业本科生, 主要研究方向为地理信息科学与技术

E-mail: pengxiaolei@nwfufu.edu.cn

通信作者: 张青峰 (1974—), 男, 山西孝义人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事土地资源与空间信息技术研究工作

E-mail: zhqf@nwfufu.edu.cn

收稿日期: 2021-04-28

西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100

PENG Xiaolei, ZHANG Qingfeng, WANG Rui, XIANG Haoli, TANG Ronghui, ZHANG Rui

College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

【摘要】为进一步探索黄土高原千沟万壑、支离破碎的自然景观特征中蕴含的分形美学价值, 本文基于黄土高原6个不同地貌类型区的数字高程模型, 在分形图案设计软件Ultra Fractal中, 利用多种标准化分形变换和Newton分形公式, 设计并对比使用原始DEM数据提取出的地貌因子数据与不同分形变换集合得到的分形美学图案。结果表明, 对蕴含地貌特征的数据进行分形设计, 可以将自然景观特征与公式化的数学思维相结合, 得到具有多样性、美观性、装饰性的图案。研究结果为自然景观的美学研究提供了一个新的方向, 也可为服饰设计、家居用品、文创产品等提供灵感与创意。

【关键词】黄土高原; 分形; 美学图案设计; DEM

【中图分类号】P901

【文献标识码】A

【文章编号】1672-1586 (2022) 01-0012-05

Abstract: In order to explore the fractal aesthetic value contained in the Loess Plateau's thousands of gully and fragmented natural landscape features, based on the Digital Elevation Model of 6 different geomorphological areas of the Loess Plateau, by the fractal pattern design software Ultra Fractal, a variety of standardized fractal transformations and Newton fractal formulas are used to design and compare the fractal aesthetic patterns obtained by using the original DEM data, the extracted geomorphic factor data and different fractal transformation sets. The results show that the fractal design of data containing geomorphic features can combine natural landscape features with formulaic mathematical thinking to obtain patterns that are diverse, beautiful and decorative. The research results provide a new direction for the aesthetic research of natural landscapes, as well as inspiration and creativity for apparel design, household goods, creative products, etc.

Key words: loess plateau; fractal; aesthetic pattern design; DEM

0 引言

黄土高原是世界上最大的黄土沉积区, 包含日月山以东、太行山以西, 长城以南、秦岭以北的广阔地区, 平均海拔为 1500 ~ 2000 m, 面积约为 62.14 万 km²^[1]。这一极具特色的地形地貌区, 经流水长期强烈侵蚀, 逐渐形成千沟万壑、支离破碎的特殊自然景观, 丰富多样的自然景观不仅具有极高的地学研究意义, 也蕴含着相当丰富的美学价值。

分形常常被定义为一个粗糙或零碎的几何形状, 可以分成数个部分, 且每一部分都 (至少近似地) 是整体缩小后的形状, 具有自相似性、自仿射性和标度不变性。

理论研究

分形几何作为一门新兴的横断学科, 自建立以来, 很快受到各个学科领域的广泛关注。孙静等利用阴香木超微观构造图案设计分形美学图案, 将丰富的构图关系融入阴香木超微观美学图案中^[2], 韦晓丹等将香樟树不同微观构造得到的分形图案设计为多种风格和用途的装饰图案^[3], 王旭婷等利用二值化及边界提取榆木微观构造图像后, 获得榆木分形图像的纹理特征^[4]; El-DARWISH I I 介绍了分形在建筑中的演变以及当今建筑中分形设计面临的挑战^[5]; 蔡燕燕等通过改变参数探索 Mandelbrot 集的丝绸图案设计^[6]。分形在各个领域赋予了图形创作新的形式, 但在地形地貌方面尚少被人们发掘利用。为此, 将分形与黄土高原自然景观所表现出的自相似性结

合,进而探索开发黄土高原的自然美学价值,将地学美融入生产生活中,对于丰富地貌美学研究、拓展美学设计具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

根据黄土高原地区综合治理规划大纲,黄土高原可划分为6个大的地貌类型区:黄土高塬沟壑区、黄土丘陵沟壑区、土石山区、河谷平原区、沙地和沙漠区、农灌区^[7]。本文分别从这6个地貌类型区中选取甘肃省永靖县、山西省临县、河南省嵩县、陕西省蓝田县、内蒙古自治区杭锦旗、宁夏回族自治区盐池县为研究对象(图1),并收集了6个县的数字高程模型(DEM),

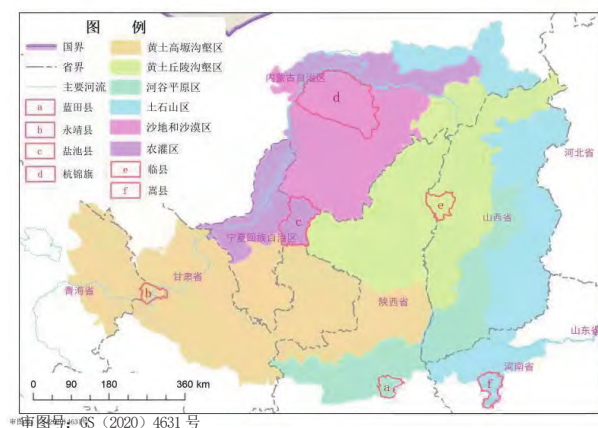


图1 黄土高原综合治理区及研究区域分布情况

Fig.1 Distribution of comprehensive management areas and research areas on the Loess Plateau

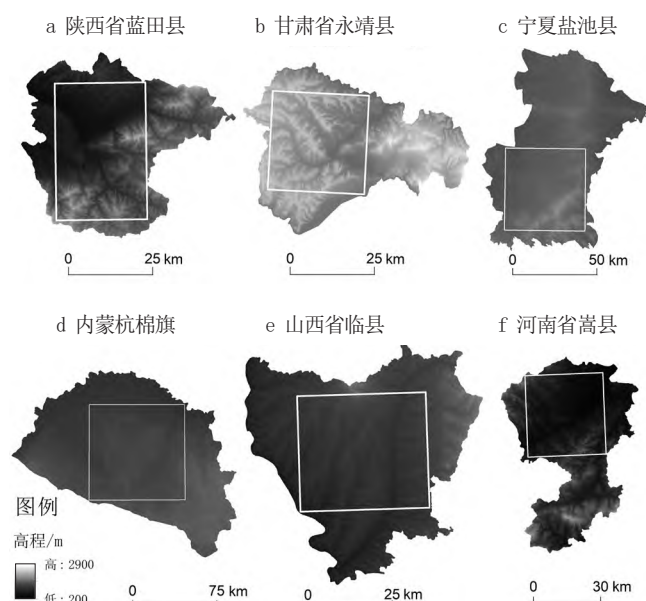


图2 6个研究区的DEM数据及其窗口裁剪情况

Fig.2 DEM data of 6 study areas and their window clipping

数据来源于地理空间数据云平台 SRTMDEM 90 m 原始高程数据(图2)。

在 ArcGIS 软件中,利用原始数字高程模型(DEM)数据对高程等值线、坡度、山脊线、山谷线、水系5种地貌因子进行数据提取。然后,以面积最大矩形窗口为原则,如图2中各个研究区的白色框线所示,对原始DEM数据和地貌因子数据进行裁剪并导出jpg格式文件。图2a为河谷平原区中的陕西蓝田县,地形复杂各异,水系镶嵌其中,图像中水系分形特征明显,窗口大小为 $26.912 \times 40.533 \text{ km}^2$;图2b为黄土高塬沟壑区中的甘肃永靖县,该区域内水土流失严重,主要由塬、坡、沟组成,相对高差大,比降大,汇流线长^[8],纹理清晰,窗口大小为 $28.533 \times 29.196 \text{ km}^2$;图2c为农灌区中的宁夏盐池县,位于黄土高原西北部,主要包括平原及周围山地,该区域中部高,东西两侧较低,高程分布具有一定对称性和规律性,窗口大小为 $47.541 \times 48.664 \text{ km}^2$;图2d为沙地和沙漠区中的内蒙古杭锦旗,风沙地貌显著,图像纹理较少,高程变化规律性较强且地面较为平缓,窗口大小为 $84.825 \times 84.601 \text{ km}^2$;图2e为黄土丘陵沟壑区中的山西临县,该区域内地貌类型主要为黄土梁和黄土沟,地表支离破碎,沟谷纵横,细节丰富,分形美感较高,窗口大小为 $38.148 \times 34.137 \text{ km}^2$;图2f为土石山区中的河南嵩县,地形破碎复杂^[9],图像纹理无显著规律,区域范围内相对高差较大,窗口大小为 $34.621 \times 36.113 \text{ km}^2$ 。

1.2 实验方法

将实验区jpg格式的原始素材导入Ultra Fractal软件,选择Kaleidoscope、Twist、Ripples等标准化分形变换并修改所对应的参数,然后加载Newton分形公式进行非线性迭代,通过软件预览窗口观察分形图案并导出最终的结果图案。

标准化分形变换是通过分形图案整体的变形和扭曲来获得不同的分形形状。本文使用的Kaleidoscope变换将原图案的径向切片进行旋转对称,Twist变换为原图案增加一个小范围的螺旋形变形,Ripples变换为原图案增加波纹效果。还可以通过调整变换中心坐标的实部(Re)和虚部(Im)获得不同形状的分形图案。标准化分形变换可以叠加使用,多重变换叠加的效果是在前一个变换的基础上进行的新变换,而不是对原图案分别进行单独变换后再叠加。

分形公式用于创建分形的基本形状和样式。本文采用Newton分形公式,该公式是通过牛顿法求解多项式方程而生成的。设 $f(z)$ 是关于复数 z 的非线性函数,且 $f'(z) \neq 0$ 。牛顿迭代法是将 $f(z)=0$ 逐次线性化的一种近似方法,迭代公式为:

$$z_{n+1} = z_n - \frac{f(z_n)}{f'(z_n)}, (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

对于给定的初值点 z_0 , 产生的序列 $\{z_n\}$ 将出现收敛和发散两种情况, 可以通过改变方程 $f(z)=0$ 来绘制分形图形^[10]。

2 结果与分析

2.1 基于 DEM 数据的分形图案设计

在 Newton 公式集合下, 使用 Kaleidoscope 变换对 6 个来自不同地貌区的原始 DEM 图像进行两次变换设计, 得到黄土高原沟壑区 (图 3A)、黄土丘陵沟壑区 (图 3B)、土石山区 (图 3C)、河谷平原区 (图 3D)、沙地和沙漠区 (图 3E)、农灌区 (图 3F) 6 个不同的分形图案, 设计中使用的参数见表 1。

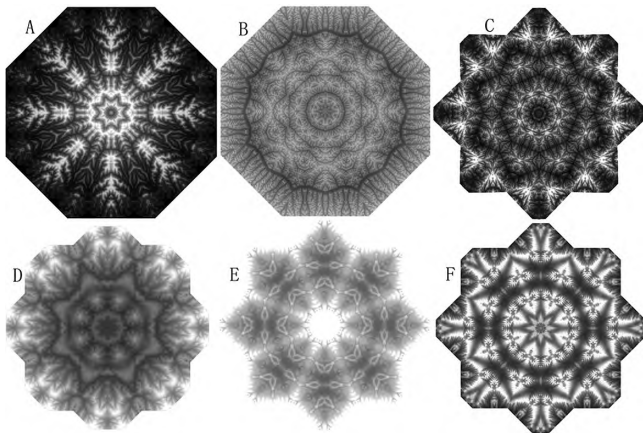


图 3 6 种不同地貌设计出的分形图案
Fig.3 Fractal patterns designed from 6 different landforms

表 1 6 种不同地貌分形图案的设计参数

Tab.1 Design parameters of 6 different topographic fractal patterns

编号	地貌区	所在行政区	参数	
			Center (Re)	Center (Im)
A	黄土高原 沟壑区	甘肃省永靖县	-1.484086,	-0.998371,
			0.393341	0.136198
B	黄土丘陵 沟壑区	山西省临县	-2.988848,	-0.807895,
			0.19334	-0.120945
C	土石山区	河南省嵩县	-0.703133,	-1.826943,
			-0.520944	-0.035231
D	河谷平原区	陕西省蓝田县	-0.440884,	-0.202789,
			-0.151765	0.162521
E	沙地和沙漠区	内蒙古自治区 杭锦旗	-0.24599,	-1.884086,
			-0.482849	-0.111422
F	农灌区	宁夏回族自治区 盐池县	-0.722181,	-1.884086,
			-0.406659	-0.111422

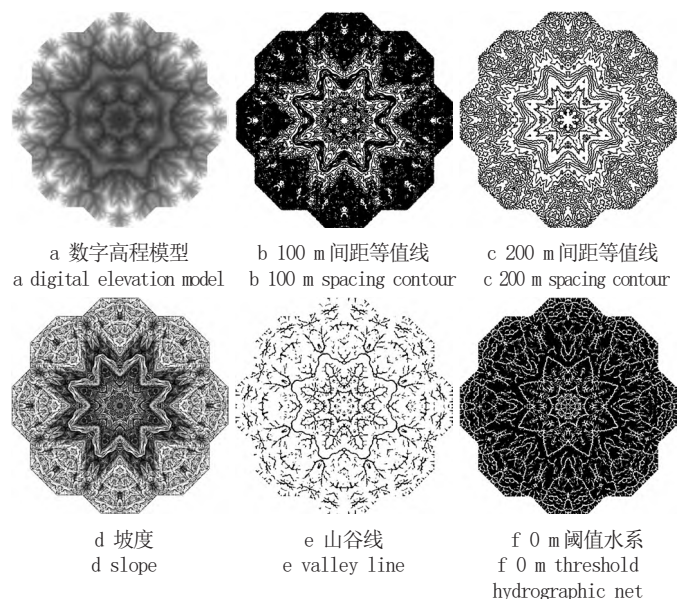
分形图案的自相似性与中国传统对称美学中以点面为核心、色彩和谐统一、两侧图案对称一致等特征有着极高的相似性, 能够被广泛地应用到各类作品当中。通过在不同地貌区叠加相同分形函数集合来实现不同样式

的对称模拟, 不同地貌类型区的 DEM 图像的纹理、灰度均不同, 因此即使是同一种分形函数集合操作也使得设计出的图案千差万别, 并且每种图案都有其独特的美感。

由图 3 可以看出, 以上 6 种不同地貌类型区的 DEM 数据分形图案在构成、纹理、灰度等方面均呈现出不同的风格, 且具有极强的对称性。在 DEM 数据中, 高程以灰度的形式反映, 灰度越大, 高程越大, 因此高程偏小的地区在图像中明度较低, 如甘肃永靖县的分形图案 (图 3A), 亮度整体偏暗但纹理清晰, 传递出有条不紊、简洁干练之感; 高程分布较为均匀地区生成的图案具有较低的对比度, 图像的灰度变化较小, 如内蒙古自治区杭锦旗生成的图案 (图 3E), 其整体均匀和谐, 宛如荷叶的叶脉, 极具朦胧端庄的传统美; 高差较大的地区, 即坡度变化大的地区具有更加丰富的纹理特征, 以位于土石山区的河南嵩县为例, 其坡度从 $0^\circ \sim 46.9^\circ$ 均有分布, 并且集中分布于 $10^\circ \sim 25^\circ$ 之间, 因此由它生成的图案 (图 3C) 纹理丰富且对比明显, 具有较强的立体感, 加之其明暗交替出现形成了极富动感的形态。在山脊山谷发育明显的地区, 其图案轮廓细致分明, 位于黄土丘陵沟壑区的山西临县其境内山脉连绵延长, 因此生成的图案 (图 3B) 轮廓明晰, 层次分明, 具有更高的美感度。

2.2 基于地貌因子数据的分形图案设计

为进一步说明不同地貌类型区地形特征的美学价值, 以蓝田县为例对其等值线、水系、坡度、山脊线、山谷线等不同地貌因子在 Newton 公式集合下, 使用 Kaleidoscope 变换进行了分形图案设计。所得分形结果如图 4 所示。



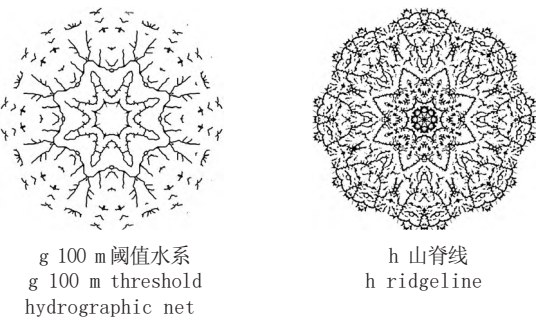


图4 不同地貌因子设计出的分形图案
Fig.4 Designed fractal patterns under different terrain factors

DEM制图与地貌因子制图之间的差异主要体现在图像灰度变化上。由于地面的高低起伏是连续的,因此图像中用于表示高程的灰度值的变化也是连续的。而等值线、山脊线、山谷线等地貌因子经过软件计算,它们之间的变化是间断的,那么相应图像灰度值的变化也不连续,在图像上更多表现的是线条样式图案。另外,虽然地貌因子数据设计时使用的分形公式和变换都相同,最终得到的图案也有较相似的样式,但是在灰度、纹理、轮廓等方面仍有较大差别,且各具特色。其中,将不同间距等值线设计出的图案对比可以发现:等值线间距越小,图案的线条越密、灰度值越小、局部纹理越丰富多样。不同阈值水系数据设计出的图案也有相似的规律。

2.3 不同变换集合的叠加图案设计

黄土高塬沟壑区作为黄土高原生态分区中分布面积最广的区域,塬面广阔平坦、沟壑纵横深切,极具黄土高原的自然景观特色,且地形支离破碎具有良好的天然分形特征。本文以黄土高塬沟壑区甘肃永靖县DEM数据为例,在Newton公式集合下,采用不同分形变换进行叠加来构造分形图案,说明通过不同分形公式叠加变换得到的图案在结构和内容上的差别(图5、表2)。

图案A1有规律的重复和排列,细腻的路和精致的花纹,凸显出古典气息;图案A2由四周向中央层层递进,原素材中的地形起伏转变为由明暗交错的线条填充的花纹,宛如镜像,远看有立体高低起伏之感;图案A3如同树木的年轮层层展开,有着严格的中心对称,饱含庄重严肃感;图案A4轮廓简洁大方,宛如天空祥云,中心图案波纹涟漪,宛如湖水碧波,极具中国古代花纹蜿蜒曲折之美;图案A5犹如花瓣的有序排列,其中的明暗纹理皆是错落有序,杂而不乱,蕴含着平衡、稳定之美;图案A6是旋转对称图形,其简练单纯的形状充满了运动的姿态,具有很好韵律感以及齐而不齐、乱而不乱的韵味。

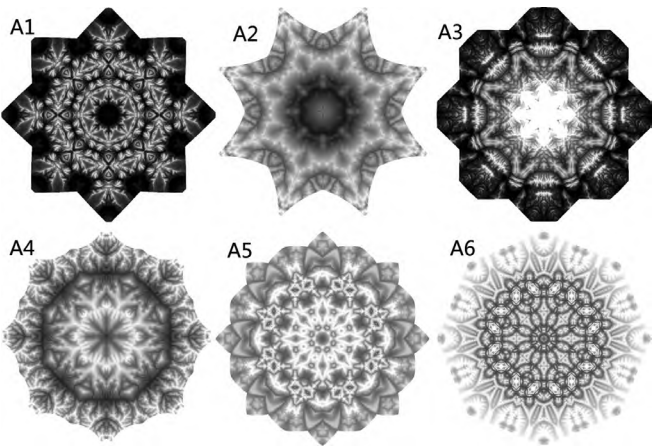


图5 不同公式变换下黄土高塬沟壑区甘肃永靖县DEM数据的分形图案
Fig.5 Fractal patterns of DEM data in Yongjing County, Gansu Province under the transformation of different formulas

表2 黄土高塬沟壑区甘肃永靖县DEM数据的分形图案设计相关参数
Tab.2 Related parameters of fractal pattern design for DEM data in Yongjing County, Gansu Province

编号	变换类型	变换参数	
		Center (Re)	Center (Im)
A1	Twist	-1.090476	-0.166667
	Kaleidoscope	-1.036466	-0.435229
	Kaleidoscope	-2.122181	0.06953
A2	Twist	-0.509524	-0.947619
	Kaleidoscope	-2.265037	-0.320943
	Ripples	-2.3030798175	0.11644357
	Kaleidoscope	-2.560276	0.421911
A3	Inverse	0	0
	Kaleidoscope	-1.99837	0.18382
	Kaleidoscope	-1.541829	-0.269481
A4	Inverse	0.038096	0.257142
	Kaleidoscope	-1.99837	0.18382
	Kaleidoscope	-1.99837	0.18382
A5	Inverse	-1.609524	0.361903
	Kaleidoscope	-0.755896	-0.374875
	Kaleidoscope	-4.742011	1.281142
	Kaleidoscope	-7.573746	2.520594
A6	Inverse	-1.561905	0.457141
	Kaleidoscope	-0.755896	-0.374875
	Kaleidoscope	-4.875344	0.319237
	Kaleidoscope	-8.402317	1.853927

3 结 论

黄土高原千沟万壑、支离破碎,具有许多独特的自然景观特征,如塬、梁、峁等。不同的景观在DEM数据中表现为不同的纹理结构,水系也展示出扇状、羽状、树枝状等不同的形态结构。这些源于自然的结构特征,具有极高的美学价值。用蕴含自然景观特征的DEM数据

作为原始素材,与分形艺术相结合,可以将公式化的数学思维融入抽象化的图案设计中,得到包含着奇异线条和绚丽色彩的图案。这些图形将技术、自然、艺术融为一体,源于自然又高于自然,可广泛应用于服饰、家居用品、文创产品等设计中,是一种新的图形创作形式。

由于实验软件限制,本次实验仅以 Kaleidoscope、Inverse、Twist、Ripples 分形变换和 Newton 集合公式为例进行了初探,种类较为单一,其他更多公式的应用还有待深入研究。在数据上也仅选择了研究区的数字高程模型,未来可以尝试将其他不同类型的数据应用于地貌分形图案的设计中。与此同时,还可以建立起基于黄土高原地形地貌特征的分形美学评价体系,为分形图案的美学分类提供依据。

参考文献

- [1] 易浪,任志远,张翀,等. 黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系[J]. 资源科学, 2014, 36(1):166-174.
- [2] 孙静,郑义海,覃林海,等. 阴香木超微观构造分形美学图案设计研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4):222-226.
- [3] 韦晓丹,罗建举. 香樟木材美学图案在主题酒店客房装饰设计中的应用[J]. 家具与室内装饰, 2013(1):74-75.
- [4] 王旭婷,崔力庆,宋魁彦. 榆木微观构造及其分形设计图像的纹理研究[J]. 林业机械与木工设备, 2018, 46(1):35-37.
- [5] El-DARWISH I I. Fractal Design in Streetscape: Rethinking the Visual Aesthetics of Building Elevation Composition[J]. Alexandria Engineering Journal, 2019, 58(3):957-966.
- [6] 蔡燕燕,宋晓霞. 基于Mandelbrot集的分形图形用于丝绸图案设计[J]. 丝绸, 2011, 48(8):35-37.
- [7] 国家发展改革委,水利部,农业部,国家林业局. 黄土高原地区综合治理规划大纲(2010-2030年)[G]. 北京:发改农经(2010)3152号,2010.
- [8] 吕静,常庆瑞. 黄土高原土石山区土地利用空间分布研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(8):93-96.
- [9] 李金朝,庆喜,葛剑平. 基于DEM的黄土高原沟壑区沟道系统的自动提取[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(6):222-223.
- [10] 卜飞宇. 基于牛顿迭代法的分形图的绘制[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(34):240-241.
- [14] LIU S, ZHENG Y, DALPONTE M, et al. A Novel Fire Index-based Burned Area Change Detection Approach Using Landsat-8 OLI Data[J]. European Journal of Remote Sensing, 2020, 53(1):104-112.
- [15] 朱曦,覃先林,廖靖. 基于模糊集理论的单时相跨区域森林过火区遥感制图[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(4):122-128.
- [16] 祖笑锋,覃先林,尹凌宇,等. 基于高分一号影像光谱指数识别火烧迹地的决策树方法[J]. 林业资源管理, 2015(4):73-78.
- [17] 李明泽,康祥瑞,范文义. 呼中林区火烧迹地遥感提取及林火烈度的空间分析[J]. 林业科学, 2017, 53(3):163-174.
- [18] DUNN J C. A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters[J]. Journal of Cybernetics, 1973, 3(3):32-57.
- [19] BEZDEK J C. A Physical Interpretation of Fuzzy ISODATA[J]. Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems, 2007, 6(5).
- [20] ZHANG Q, ZHANG P, XIAO Y. A Modeling and Measurement Approach for the Uncertainty of Features Extracted from Remote Sensing Images[J]. Remote Sensing, 2019, 11(16):1841.
- [21] 吴立叶,沈润平,李鑫慧,等. 不同遥感指数提取林火迹地研究[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(4):567-574.
- [22] WANG W, FU Y, DONG F, et al. Semantic Segmentation of Remote Sensing Ship Image Via a Convolutional Neural Networks Model[J]. IET Image Processing, 2019, 13:1016-1022.

(上接第11页)