

黄土高原地区景观格局演变研究综述

王计平^{1,2}, 陈利顶¹, 汪亚峰¹

(1.中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:研究黄土高原地区景观格局演变对认识该地区整个生态系统结构和变化,乃至全球变化,具有至关重要的作用。本文在剖析景观格局和土地利用格局概念与内涵的基础上,从定量化分析、时空特征和尺度效应等方面对黄土高原地区景观格局演变研究进展进行了阐述,深入分析了当前研究在景观数据选择与应用、尺度依赖性分析和标准确定等方面的现状特征与不足之处,并对今后在景观格局演变方面的发展趋势进行了展望,以期对未来景观格局与过程研究提供参考。

关 键 词:黄土高原;景观格局演变;土地利用格局;土地利用/土地覆被变化;尺度效应

1 引言

景观生态学注重研究空间格局的形成、动态以及与生态学过程的相互关系^[1]。景观格局是指大小和形状不一的景观镶嵌体在景观空间上的排列^[2]。它是景观异质性的具体体现,同时又是不同时空尺度上生物因素、非生物因素和人为因素长期相互作用的结果。一切自然营力及人类活动都将引起景观格局的变化^[3],反过来又会对人类生存的自然环境、人类社会制度、经济体制甚至文化思想构成影响^[4]。景观格局变化表现为景观自然演化形式和以人类干扰为特征的非自然演化形式。在短的时间尺度下,人类活动对景观格局演变的主导性最为明显,所以可以通过调控景观空间格局演变的方向、幅度和程度来实现景观的定向演变和区域的可持续发展^[5]。目前,人类面临的许多环境问题与发展问题都与景观变化有关,因此研究景观格局演变对认识整个生态系统的结构和变化,乃至全球变化,具有至关重要的作用。

黄土高原因其特殊的自然景观,生态本底脆弱,加上历史上长期的滥垦、滥伐、滥牧等不合理的土地利用方式和人口增长,不仅导致了区域景观格局的剧烈变化,而且使得生态环境不断退化,人地关系极其紧张^[6],也因此受到了各级政府的高度重视。20世纪50年代以来,我国投入了大量的人力物力进行黄土高原地区的植被恢复与水土流失治

理,尤其是改革开放以来实施的小流域综合治理和退耕还林还草等工程项目,极大地改变了黄土高原地区土地利用/土地覆被的格局^[4,7]。这种变化不仅会对区域生态环境带来影响,也会对区域乃至整个黄河流域的生态安全与可持续发展带来影响。多年来学者们针对该区景观格局演变及其生态环境效应作了大量的探讨,在景观格局演变的定量化分析、景观格局变化的时空特征及尺度效应方面取得了重要进展。然而,从总体上看,在景观数据选择与应用、尺度依赖性分析和标准确定等方面还存在不足之处。本文就黄土高原地区景观格局演变研究进展进行了阐述,以期对黄土高原地区未来土地利用及区域可持续发展提供借鉴。

2 景观格局与土地利用格局

在土地科学、地理学以及景观生态学研究,最常见的两个术语就是景观格局和土地利用格局。景观格局是指景观组分的空间分布和组合特征,而土地利用格局虽没有明确定义,但它是人类对土地利用的方式和状态的一种空间反映。景观格局和土地利用格局都代表地域综合体的一种空间状态,但在涵义和外延上仍存在根本的区别。景观格局是不同类型斑块空间异质性的体现,在内涵上更加强调不同空间尺度上景观组分排列组合所产生的一种长期的美学价值和生态效益;而土地利用格局则以

收稿日期:2010-01; 修订日期:2010-03.

基金项目:国家自然科学基金项目(40621061);中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-421)。

作者简介:王计平(1978-),男,山西保德县人,博士研究生,主要从事景观生态评价与规划。E-mail:wjp_gis@163.com

通讯作者:陈利顶(1965-),E-mail:liding@rcees.ac.cn

均质性的地块单元为基础,在内涵上更侧重于空间上不同地块单元的社会经济属性。从外延上看,景观作为土地的具体部分,其格局也可以代表一定空间尺度上人类利用土地的方式和状态。由于景观类型数据的获取通常都来源于土地利用类型图,许多研究中,常用景观格局变化来反映土地利用/土地覆被格局的变化。然而,从驱动关系看,在以人类活动为主导的景观里,人的土地利用活动是景观格局演变的主要因素。

3 黄土高原地区景观格局演变研究现状

景观格局演变研究可以理解为对景观格局的时间和空间异质性的研究。景观格局空间异质性是指景观格局结构在空间分布上的复杂性,可以借助景观指数及其空间统计特征分析。时间异质性是景观空间结构在不同时段的差异性。景观时空异质性特征的反映不仅与景观数据质量与研究手段有关,更依赖于观测的时空尺度。因此,针对黄土高原地区多年来不断开展的景观格局演变研究,从景观格局量化分析、景观格局演变时间、空间特征及尺度效应等方面进行阐述。

3.1 景观格局演变的量化分析

定量分析景观格局的演变特征是描述景观格局的基本手段。黄土高原地区不仅地形地貌格局复杂,斑块类型多样,而且饱受强烈的人为干扰,特别是近几十年来不断开展的生态建设活动。因此,如何准确刻画该地区景观格局演变规律是多年来地理学和生态学关注的重点。景观格局指数和其他学科方法的不断引入,极大地推动了景观格局演变分析的量化研究。主要体现在以下几个方面:

3.1.1 景观空间格局指数的应用 利用景观格局指数方法,开展不同时空尺度景观格局演变特征的量化研究,是景观格局变化研究的一个特点。目前研究工作集中在陕北、陇西等黄土丘陵区,主要借助 FRAGSTATS 软件包,从斑块类型水平和景观水平上选取景观指数进行分析^[8-10]。遥感数据的广泛应用及其与 GIS 相结合,成为探讨景观格局演变,揭示空间变化规律,建立景观格局演变数量模型的有效手段。景观的数字化往往以土地利用类型图作为参照来确定景观类型。因此,景观格局指数的计算结果不仅受到同一景观类型图所带来的幅度效应和粒度效应的影响,而且会受到不同景观分类图

所带来的影响,即所谓的“主题分辨率效应”。赵文武等^[11]以延河流域 1:25 万和 1:50 万土地利用图为对象,通过比较不同比例尺下景观指数随粒度增加(粒度值从 25~400 m)的变化特征发现,除多数景观指数具有明显的粒度效应之外,不同比例尺的土地利用类型图存在进行景观指数计算的适宜粒度范围,如 1:25 万和 1:50 万土地利用图的适宜粒度范围分别是 70~90 m,90~120 m。杨丽等^[12]以泾河流域 1:10 万比例尺下的景观类型图为研究对象,探讨景观指数计算的适宜粒度范围。结果表明,基于 1:10 万的景观类型图进行景观指数计算的适宜粒度范围为 30~40 m。

由此可见,不同比例尺或不同粒度下的景观类型图对景观指数的影响是很显著的。此外,基于图形图像进行景观斑块类型和边界的划分取决于景观特征、划界标准、所采用的工具和方法等因素,由此而造成的分类和划界差异也必然会影响景观指数值,然而目前对这一问题的研究尚少。

毋庸置疑,在大的空间尺度上,GIS 和遥感技术使得景观格局指数的计算和分析更为便捷。特别是不同时空和光谱分辨率数据的应用更有助于开展多尺度的景观格局与动态研究。相比而言,最为常见的遥感影像资料就是 Landsat TM 影像,已在土地利用/土地覆被变化和景观动态研究中得到了较多的应用。然而,对于沟壑纵横的黄土丘陵区,由于土地利用结构非常特殊,仅靠 TM 数据和常规信息提取方法,很难达到理想的分类结果,必将影响景观指数计算结果的准确性。一些学者对这一问题进行了有益探索,如借助影像融合^[13]、DEM 辅助分类^[14]、面向对象分类等技术^[15],通过提高黄土丘陵沟壑区土地利用自动分类精度来满足研究需求。但要正确识别景观格局,还应加强景观数据质量的控制,特别是用来提取景观信息的各种影像数据。

土壤侵蚀作为黄土高原地区主要生态环境问题,其发生和发展受景观格局演变的影响较为深刻。常规的景观格局指数和泛泛的景观格局分析显然难以揭示这种复杂的关系。许多学者对此进行了积极探索。陈利顶等^[16]提出了“源—汇”景观理论,并构建了源汇景观空间负荷比指数,来定性评价一个地区景观格局对生态过程影响,已在水土流失、污染物迁移研究方面得到较好的应用和发展^[17-18]。此外,游珍等^[19]从坡面尺度上,提出斑块顺坡连通度、斑块等高连通度以及斑块相对位置等指数,并以黄土高原地区黄家二岔流域进行实例研究。研究

表明这些指数可以较好地评价坡面景观空间位置对土壤侵蚀过程的影响。景观格局指数运用的生命力在于结合实际来解释所描述对象的景观生态学意义。正如邬建国所言,要使景观指数成为真正反映景观格局与过程相关关系的指数,我们必须透过指数的数字外表而理解其生态学内涵^[1]。因此,未来的研究工作需要深入理解格局与过程的内在关系和机制,有效应用和发展景观指数,提高格局分析的科学性。

3.1.2 空间统计学方法的应用 为了解空间异质性在景观中是否具有某种趋势或统计学规律,进而理解景观格局本身及其与生态过程间的相互作用关系,空间统计学方法应运而生。张晓萍等^[20]应用空间自相关分析法,揭示了陕北延安黄土丘陵区距公路和城市不同范围内退耕还林的程度及其空间分布特征。实际上退耕还林的空间过程与坡耕地分布的自然地形条件有很大关系,仅靠表面上呈现出来的退耕还林与城市和公路之间的相关关系,难以揭示退耕过程的驱动机制,这也是空间自相关分析方法的不足之处。半方差分析作为一个描述和识别景观空间结构的统计学方法,在黄土高原地区土壤养分空间变异研究方面得到了较好的应用。如,王军等^[21]对黄土高原典型小流域土壤养分的空间异质性特征进行了定量研究。此外,该方法在宁夏南部黄土高原地区流域土壤速效养分空间变异研究中也得到了成功应用^[22]。姜娜等^[23]将地统计学方法和传统统计学方法相结合,对黄土高原地区强烈侵蚀中心六道沟小流域坡面土壤入渗特性重要参数的空间变异结构进行了积极的探索,这对揭示黄土高原地区景观演变动态的脆弱性和景观格局的复杂性具有重要意义。半方差分析方法在黄土高原地区的应用研究仅限于土壤养分、土壤水分空间变异特征等方面,且多在地块和流域尺度上展开。随着遥感和 GIS 技术的广泛应用和发展,应用半方差分析方法在更大尺度上探究不同生态过程中景观变量的特征尺度成为可能,如植被、生物量分布格局等。一些其他景观空间分析方法,如小波分析、分形几何、孔隙度分析等,已在其他地区和领域开展了较多的应用,而在黄土高原地区景观格局演变研究鲜有报道。事实上,一些多尺度的景观格局演变研究往往需要几种不同的空间统计学分析方法才能有效识别和分析景观空间特征和演变规律。

3.1.3 马尔柯夫链在景观格局分析中的应用 马尔柯夫链(Markov chain)是一种常用的景观动态预测

模型,可以刻画景观中基质、斑块与廊道间的相互转化方向和速度,在黄土高原地区景观格局演变研究中得到了较多应用。李宇等^[10]分析了 1980–2000 年定西地区黄土高原土地利用变化的幅度、空间分布特征、方向以及耕地的主要流向,并应用马尔柯夫空间概率模型对定西地区 2015 年土地利用格局进行了预测分析。高照良等^[24]以窟野河流域的六道沟为例,应用马尔科夫链探讨了土地利用/覆被历年变化趋势,为黄土高原水蚀风蚀交错区土地资源合理利用提供了科学依据。该方法的使用需要特别重视资料的来源和可比性,否则景观格局的趋势预测将缺乏说服力。景观模型有助于建立景观结构、功能和过程之间的相互关系,是预测未来景观变化的有效工具。除马尔科夫链外,细胞自动机模型和基于人工智能的人工神经网络模型已广泛应用于城市土地利用/土地覆被动态模拟,尽管目前在黄土高原地区少有应用,但随着对景观格局和生态学过程间相互关系的深入理解,基于景观个体或者生态过程的景观机制模型将是未来区域景观动态模拟研究的方向。

3.2 景观格局演变的空间特征

景观格局演变特征总是随着时空尺度的变化而变化,在相同时间尺度下,不同空间尺度的景观格局变化特征也会有所不同。一般认为,随着空间尺度增大,不同景观类型在各时段的变化幅度变小,但景观类型之间转换的复杂性变大。

3.2.1 坡面尺度 在黄土高原地区,坡面作为流域/区域的基本构成单元,综合了土地利用、水文、地貌、土壤等过程。许多年来,大多机理研究都集中于坡面尺度上,尤其是土壤侵蚀过程研究。由于众多自然和人文过程都直接发生于坡面上,因此景观格局演变在坡面尺度上的表现最为明显。在局地尺度上,地形通过地貌过程,对植被的自然演替及其分布格局生产影响,而人为干扰使得植被乃至土地利用格局演变过程更为复杂。从整体而言,在基本农田建设和退耕还林(草)工程的驱动下,坡耕地向梯田、人工草地、林地转变是坡地景观格局演变的一个突出特点。截至 2000 年,黄土高原梯田面积已经占耕地总面积的 40%以上,极大地改变了坡面景观格局^[25]。同时,以坡度为参照所进行的大规模陡坡地退耕活动对坡面景观格局改变的影响也尤为深刻。然而,受限于数据精度、观测手段等因素,常规的方法很难从空间上定量刻画坡面景观格局的多样化,进而来探究其演变规律。但随着认识和研究

的深入,在高分辨率遥感影像数据和其他环境变量数据的支持下,坡面尺度上景观格局的定量化表达精度将不断被提高,探讨坡面尺度上景观格局演变与生态过程之间的关系将成为可能。

3.2.2 小流域/流域尺度 小流域/流域是黄土丘陵沟壑区自然地貌的基本单元,研究其格局演变特征有助于理解流域内部土地利用、水文响应等过程。许多土地利用/覆被变化研究都是从小流域/流域尺度上展开的,特别是纸坊沟、大南沟、羊圈沟、延河、泾河流域开展的土地利用变化研究^[8,26-29]。从众多研究结论来看,小流域/流域尺度上景观格局演变的一般特征表现为:在生态恢复和流域治理驱动下农田景观面积下降,生态保护型景观(林地、草地等)面积及平均斑块面积不断增加,斑块形状趋于规则化,且分离度在下降;在景观水平上,多数小流域/流域呈现出景观破碎化程度在加剧、景观多样性指数趋于上升、景观复杂性在降低的变化规律。尽管小流域/流域尺度上的研究对揭示中小尺度上景观格局演变特征更为准确,然而,由于研究目的、时段和评价指标的不同,不同流域间景观格局演变特征相差较大,即便是同一流域尺度上,景观格局演变特征因景观格局分析方法不同而异,因此,如何在数据、指标选取上建立一些标准来提高研究结果的可比性,不仅对小流域/流域尺度,而且对其他尺度上的景观格局演变研究都具有重要意义。

3.2.3 县域尺度 县域是区域发展的基本单元,把握县域尺度景观格局演变的规律和驱动因素是实现区域可持续发展的重要基础。在县域尺度上,土地利用流转频繁,特别是耕地和建设用地景观的剧烈变化,是景观格局演变的一个特点。张秋菊等^[30]分析了安塞县 1980–2001 年间土地利用变化的特点。发现安塞县耕地、水域与未利用地面积大幅度减少,林地、牧草地与居民点及工矿交通建设用地的快速增加,不同时期土地利用变化的结构、速度有很大差异。王晓峰等^[31]对近 14 年榆林北 6 县土地利用变化进行研究表明,耕地和未利用土地的减少最为明显,转变幅度最快的是园地和建设用地,农用地内部各地类转换剧烈,农用地和建设用地之间的转换明显。卞德鹏等^[32]分析了吴起县 1950–2005 年 50 多年来耕地数量变化的过程,发现耕地呈现明显的下降趋势。焦峰等^[33]人对黄土丘陵区县域尺度整体景观格局分析表明,人类活动对各种景观类型的优势度的影响十分显著,集中体现在坡耕地和荒坡地上,随着人类活动影响的增强,景观破碎度

指数呈显著增加趋势,斑块形状受地貌形态因素的影响更为显著,集中体现在有林地和荒坡地上,其形状指数值大于其它景观类型。由于县域作为一个相对独立的经济单元,自然资源、社会统计资料便于获取,因此定量化分析土地数量变化同其他影响因素之间的关系成为探讨土地利用变化驱动机制的主要途径。然而在分析县域尺度上土地利用格局空间特征方面存在明显不足。

3.2.4 区域尺度 区域作为人口、资源、环境相互作用较强的单元,其土地利用变化研究不仅能够揭示区域社会经济和自然环境之间的相互关系,而且可以为更大尺度或全球环境变化研究提供基础。目前的研究多集中于延安、榆林等生态脆弱区。在植被建设的影响下,农田和未利用地面积趋于下降,林草覆盖面积不断增加是目前区域景观格局演变突出特点^[30,34]。此外,受区域经济发展的驱动,城乡工矿交通建设用地不断增加,耕地的种植结构不断调整,表现为粮食作物面积的减少和经济作物面积的增加^[30]。郭丽英等^[35]以 Landsat TM 遥感影像为基本信息,应用景观格局指数分析法,对榆林市土地利用格局变化进行了研究,结果表明,区域景观多样性在下降,景观优势度逐渐提高,而破碎化程度在增强。植被覆盖的时空变化是自然和人类活动交互作用的结果,因此探讨植被覆盖格局变化的时空特征对认识区域土地利用/土地覆被变化具有重要意义。信忠宝等^[29]利用 GIMMS 和 SPOT VGT 两种归一化植被指数数据从更大尺度上对黄土高原地区 1981–2006 年期间植被覆盖的时空变化进行了研究,研究发现,黄土高原地区植被覆盖变化存在显著的空间差异,内蒙古和宁夏沿黄农业灌溉区和鄂尔多斯退耕还林还草生态恢复区的植被覆盖明显提高,而黄土丘陵沟壑区和六盘山、秦岭北坡等山地森林区植被覆盖明显退化。区域尺度土地利用格局变化研究是全球变化研究重要内容,然而,目前该领域还存在针对性研究缺乏、空间特征分析不够深入等问题。

3.3 景观格局演变的时间特征

在景观生态学中,时间尺度是指某一现象或事件发生的(或取样的)频率或事件间隔。景观格局演变在时间尺度上具有明显的依赖性,表现为各种干扰因素和生态演替驱动下不同景观斑块随时间的变化过程。由于景观格局的数据多依赖于各种图形和影像资料,景观格局演变研究时间尺度的选择与遥感影像数据获取时相有很大关系。

目前,在黄土高原地区开展的景观格局演变研究多借助 GIS 和遥感技术,利用景观格局分析方法来比较不同时段土地利用/土地覆被变化特征为基本思路。受遥感数据来源限制,其时间尺度一般为 10~30 年左右^[6,36],但也有少量研究时间尺度跨越了 60 余年^[37]。景观格局总是处于不断变化之中,在短时间尺度上植被覆盖的季节变化特征较为明显^[38],如农地盖度随季节而变化,一般在 8 月份达到了最大值^[39]。也可以借助长时间序列植被指数来监测区域的植被格局变化状况^[40]。在黄土高原地区,长期的、大规模的生态建设对景观格局改变的影响最为明显,许多研究都是依此背景来展开。游珍和李占斌^[41]从长时间尺度对纸坊沟流域景观格局特征进行了研究,发现从 20 世纪 30 年代以来,研究区景观格局变化经历了急剧破坏(1958 年左右)、缓慢恢复(1975–1990 年)、基本保持(1991–1997 年)和快速恢复(1998–1999 年)的 4 个阶段,每个阶段景观格局演变特征鲜明。1998 后退耕还林还草政策的大面积实施,黄土高原地区景观格局发生了极大的变化。景观格局随时间尺度变化集中表现在草地和旱坡耕地向人工造林地转移,梯田和果园面积也在逐步增加。从研究现状来看,多数研究在比较景观类型空间变化时总是以一定的时间尺度为研究时段,尽管在一定程度上揭示了研究对象的在一定时段的变化规律,但由于所选择的时空尺度较为单一,进而很难真正捕捉到景观组分在时空变化上的本质特征,致使对景观格局演变的时间和空间特征的分析都不尽深入。根据等级理论,自然界的现象在时空尺度上的分布表现出一定的相互对应性。不同斑块镶嵌体构成等级斑块动态系统,其动态取决于多层次的过程,表现出一定的多尺度特征。因此,认识景观格局演变的时空尺度依赖性首先应从多尺度景观格局分析入手,通过分析不同时空尺度上景观格局演变特征来探寻景观格局随时空尺度演变的特点和规律。

3.4 景观格局演变的时空尺度效应

景观格局和景观异质性都依赖于所观测的时间和空间尺度。景观格局和过程的关系只有在一定尺度下才有意义,不同尺度下的研究结果往往相差很大。因此,探讨景观格局演变的时空尺度效应有利于从不同层次认识景观格局变化的机理和过程,越来越为生态学家所关注,但如何揭示景观格局演变的时空尺度效应一直缺乏有说服力的工作。景观格局演变的空间尺度效应表现在空间粒度和幅度

变化下景观格局特征的变化。已有的尺度效应研究多注重描述景观指数对尺度变化的响应,且多为粒度变化,许多人对此做了大量的工作^[11–12],已经表明某些景观指数表现出不随景观类型变化的尺度规律,而大多数景观指数则变化多端。但在景观格局演变的幅度效应和时间尺度效应方面研究尚少。一些学者对此进行了初步的探讨,分析表明,随着研究时间尺度变短,土地利用动态变化度增强,反之则减弱;随着空间尺度的增大,不同土地利用类型在各时段的变化幅度减小,但土地利用之间转换的复杂性增大^[42]。随着对尺度效应问题认识的不断深入,多尺度土地利用变化研究将会成为研究的主流,而且时空尺度的结合可能会得到更多重视。

4 黄土高原地区景观格局演变研究存在的主要问题

纵观已有的研究可以看出,由于研究的数据、方法、角度、目的等差异,黄土高原地区景观格局演变研究还存在许多问题。这些问题也是整个景观变化研究领域存在的普遍问题。主要表现在以下几个方面。

4.1 数据问题

景观格局时空变化研究常常采用多种遥感技术以获取大尺度和多尺度上的土地利用信息资料。然而,依赖于各种遥感影像资料作为数据源来进行景观格局演变研究的不足之一是受限于遥感数据获取的时相,往往不能包括景观格局演变过程的关键事件^[43],如 20 世纪 30 年代以前,航片资料几乎没有,使得较长历史时期景观格局演变研究难以进行。第二,遥感影像数据选取及影像空间分辨率确定等方面尚有许多问题。从不同数据源提供的数据上所获得的生态、物理信息各不相同,因此根据研究对象的特征和研究目标,选取适宜的数据进行景观制图和分析,是景观格局演变研究需要考虑的问题之一。不同的研究区域和观测尺度,景观格局演变的空间分布和结构特征有所差异。目前的研究多注重于遥感影像本身分辨率变化对景观格局指数和观测结果的影响,而对如何有效选择适宜分辨率的影像进行景观格局变化分析的研究较少。如利用分辨率为 30 m 的 TM 影像进行地形复杂的黄土丘陵沟壑区的土地利用变化研究,其适用性以及结论的可靠性已经为许多学者所质疑^[13]。因此,结合研究实际,如何选择合适的遥感数据和适宜的空间分

分辨率是进行景观格局演变研究必须考虑的方面。第三,景观类型数据的获取、质量评价和多种数据结合等方面的研究甚少。景观格局演变及其驱动力研究需要地理、生态、人文等一系列资料,由于元数据获取时间和方式的不同,数据在质量、类型、标准上存在很大的差异,因此数据质量的准确程度决定着结论的可信度,但迄今为止,对景观数据的误差和不确定分析方面的研究甚少。此外将人文数据和遥感数据结合在时间频率和空间分辨方面也存在较大的难度^[44]。

4.2 尺度问题

尺度影响着景观格局变化的各个方面,在进行景观格局演变研究及解决景观格局变化一些相关问题时,都会涉及尺度问题。如景观类型定义与分类、景观格局变化分析、景观格局演变的驱动机制、土地利用变化评价、预测、规划与管理,景观格局与生态过程等等,都与尺度有关。不同时空尺度下,景观格局演变具有不同的表现特征和动力机制。在某一时间尺度下,大空间尺度上景观变化往往不易发现,而具体到某一地块上这种变化就清晰可见^[45]。同样,在同一空间尺度下景观格局变化速率、方向和影响随时间尺度而异。非常短或非常长的时间段都有可能掩盖景观结构变化的真实情况^[46]。从景观格局演变驱动机制上看,在局地尺度上,景观受土壤类型、水分状况、小气候及土地拥有者的个人意愿决定,而在大的尺度上,景观格局变化的解释因素可能包括地貌、气候因子、土地政策、财政支持等。然而,由于景观格局和过程的复杂性,目前的研究多集中在中、小尺度上开展,且观测尺度和研究尺度较为孤立和单一化,而大尺度和多尺度的综合研究相对不足。因此,针对不同的研究对象,选择恰当观测尺度和分析尺度是至关重要的,但实际上适宜尺度的选择往往受技术、数据、感知能力和项目等因素的限制,因此,景观格局演变研究中的尺度问题是生态学家面临的又一难题。

4.3 标准问题

景观格局演变研究的一般过程包括尺度的确定、景观数据收集与处理、景观分类与制图、景观指数选取与计算、景观格局变化特征描述与分析、生态学意义评价等环节。因此,研究结果的准确度和可信度与遥感数据类型、数据质量、景观分类体系、景观指数选择和格局评价标准具有千丝万缕的联系。然而,迄今为止,在影响景观格局变化研究的各个环节还缺少相应的标准来提高数据、指标选取及应用的规范化。主要表现在:①景观指数的分类缺

少统一的标准。在景观格局及生态过程研究与实践过程中,各式各样的景观指数从不同的角度描述了景观格局与动态变化,并在揭示一些生态过程方面有许多成功的案例,然而,依赖于景观指数进行景观格局分析的科学性也一直为许多学者所关注。景观指数数值因受尺度(粒度和幅度)变化、景观分类等因素的影响而表现得变化多端,目前还没有统一的方法来衡量这些指数数值的统计学显著性。此外,在景观指数选择及其有效应用方面,目前还未形成统一的标准。如景观连接度指数,在计算时,需要设定一定宽度阈值来衡量某些景观类型的连接度水平,但针对不同景观类型应该设定多宽为最佳,还没有一个统一的标准。②不同尺度上的相应的景观分类体系缺乏。景观分类数据常常来自不同比例尺的土地利用图,因此,不同土地利用分类划分将导致不同的景观格局指数值,而同一景观应用不同的分类标准,将导致景观格局指数出现不可预见的变化。土地利用分类随尺度而变化,不同空间尺度上,土地利用类型划分的细微程度通常不同,然而,目前还缺少多层次、统一标准的分类标准,如在一些小尺度下的研究通常采用区域尺度或国家尺度下的分类标准,这将导致一些廊道型景观要素被归并到其他更大一级的景观类型中(如河流被水域所包括,道路被归为建设用地景观),在一定程度上降低了土地利用格局的景观生态内涵。③景观数据缺少统一的评价和应用标准。景观格局演变、驱动力分析及生态过程研究需要不同尺度上的各种景观数据(人文、生态、地理等)。特别是采用遥感技术获取的卫星数据,已成为大尺度和多尺度上景观生态研究的基础数据。这些不同类型的景观数据在数据质量和应用层面上目前缺少统一的评价标准,主要表现为景观数据的细微程度与景观研究的时空尺度不统一。此外,应用不同分辨率的遥感数据进行同一景观地区的格局分析时景观格局指数的变化不具有可比性。因此,应该或如何制定一系列标准来提高景观数据、景观指数、景观分类体系的选择和用其进行景观格局演变研究的规范是当前景观生态学研究面临的问题和挑战。

5 研究展望

综上所述,尽管黄土高原地区景观格局演变研究取得了一定进展,但还有很多方面需要不断的探索和创新。

(1) 建立检验景观指数数值变化的统计学显著

性方法,发展能够反映景观格局与过程相互关系的指数,提高景观格局分析的科学性。尽管景观指数已在黄土高原地区景观格局演变研究中广泛应用,但目前的研究大多停留在对景观指数数值变化的描述与分析,而对这些景观指数的适用性、对不同尺度景观特征的反应及其指数数值变化的生态学意义缺少深入的理解。因此,未来的研究一方面要加强景观指数适用性和有效性研究,另一方面应该基于黄土高原地区典型生态过程(水文过程、生态系统服务等),深入研究景观格局与过程的内在关系和机理,发展更能揭示生态学过程的景观格局指数,从而提高景观格局分析的科学性。

(2) 确立一系列标准来提高景观数据、景观指数、景观分类体系选取和应用的规范化,有效评价景观格局变化特征。在景观格局分析中,由于人们所选择的数据、景观指数及景观分类体系的不同,研究成果通常缺乏系统性和可比性,大大降低了景观格局研究的现实意义。因此,总结已有成果和经验,针对研究目的与需求,建立一系列标准来规范景观生态研究中对数据、指标等选取和应用的混乱局面,将是未来景观生态研究与实践中一个值得深入探讨的问题。

(3) 加强多尺度景观格局研究,重视尺度效应对景观格局与过程的影响。景观格局变化是作用在不同尺度上的各种过程累积聚合的结果。然而,现有的景观格局演变研究方法和理论体系大多是在某一时空尺度下建立的,虽然以这种方式在景观格局研究的各个方面取得了大量的成果,但在单一尺度水平上建立的方法和模型很难应用于其他尺度下的研究。因此,重视尺度和尺度效应分析,多尺度开展景观格局变化研究是未来发展的主要方向。

黄土高原地区景观类型多样,在人为活动的影响下,土地利用/土地覆被变化极其复杂,各种生态问题不断出现。因此,深入研究黄土高原地区景观格局演变特征和规律并将其与影响区域生态环境质量改善的主导过程联系起来,必将在提高黄土高原地区生态系统的安全性、指导区域土地利用规划、促进区域的可持续发展等方面具有重要的现实意义。实现这一目标不仅需要大量的基础研究和应用实践,而且需要综合相关学科的方法和理论以及一些先进的技术和研究理念。

参考文献

[1] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.

- [2] 伍业钢, 李哈滨. 景观生态学的理论发展//邬建国. 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [3] Turner M G, Ruscher C L. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology*, 1988, 1(4): 241–252.
- [4] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 肖笃宁. 论现代景观科学的形成与发展. *地理科学*, 1999, 19(4): 379–384.
- [6] 徐勇, Sidle R C. 黄土丘陵区燕沟流域土地利用变化与优化调控. *地理学报*, 2001, 56(6): 657–666.
- [7] Chen L D, Wang J, Fu B J, et al. Land-use change in a small catchment of northern Loess Plateau, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 86(2): 163–172.
- [8] 陈利顶, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究: 以陕西延安地区大南沟流域为例. *地理科学*, 2001, 21(1): 46–51.
- [9] 马明国, 陈贤章. 基于遥感与 GIS 的黄土丘陵区生态监测系统研究: 以定西地区 4 县为例. *中国沙漠*, 2003, 23(3): 280–284.
- [10] 李宇, 董锁成. 基于 GIS 的定西地区黄土高原土地利用变化研究. *农业工程学报*, 2004, 20(3): 248–252.
- [11] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 326–333.
- [12] 杨丽, 甄霖, 谢高地, 等. 泾河流域景观指数的粒度效应分析. *资源科学*, 2007, 29(2): 183–187.
- [13] 刘咏梅, 李锐, 杨勤科. 基于影像融合的陕北黄土丘陵沟壑区土地利用自动分类. *中国水土保持科学*, 2004, 2(4): 6–10.
- [14] 刘咏梅, 杨勤科, 温仲明. 地形复杂地区遥感图像分类方法应用研究. *水土保持通报*, 2003, 23(4): 30–32.
- [15] Dorren L K A, Maier B, Seijmonsbergen A C. Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using Object-based Classification. *Forest Ecology and Management*, 2003, 183: 31–46.
- [16] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法: 景观空间负荷对比指数. *生态学报*, 2003, 23(11): 2406–2413.
- [17] 索安宁, 王天明, 王辉, 等. 基于格局—过程理论的面源污染实证研究: 以黄土丘陵沟壑区水土流失为例. *环境科学*, 2006, 27(12): 2415–2420.
- [18] Chen L D, Tian H Y, Fu B J, et al. Development of a new index for integrating landscape patterns with ecological processes at watershed scale. *Chinese Geographical Science*, 2009, 19(1): 37–45.
- [19] 游珍, 李占斌. 黄土高原小流域景观格局对土壤侵蚀的影响. *中国科学院研究生院学报*, 2005, 22(4): 447–453.
- [20] 张晓萍, 高照良. 中尺度地区土地利用变化及退耕还林空间布局特征研究. *生态经济*, 2006, (5): 31–35.
- [21] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性. *生态学报*, 2002, 22(8): 1173–1178.
- [22] 马斌, 马琨, 何宪平, 等. 宁夏南部黄土高原流域土壤速效养分空间变异研究. *农业科学研究*, 2006, 27(3): 16–20.

- [23] 姜娜, 邵明安, 雷廷武, 等. 黄土高原六道沟小流域坡面土壤入渗特性的空间变异研究. 水土保持学报, 2005, 19(1): 14-17.
- [24] 高照良, 穆兴民. 黄土水蚀风蚀交错区土地利用/覆被时空变化研究: 以陕西省神木县六道沟流域为例. 水土保持学报, 2004, 18(5): 149-150.
- [25] 黄志强. 黄土高原水土保持近期方略. 水土保持学报, 2002, 16(5): 82-85.
- [26] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响: 以延安市羊圈沟流域为例. 地理学报, 1999, 54(3): 53-58.
- [27] 朱恒峰, 赵文武, 康慕谊, 等. 延河流域土地利用格局时空变化与驱动因子分析. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 17-22.
- [28] 杨丽, 谢高地, 甄霖, 等. 泾河流域土地利用格局的时空变化分析. 资源科学, 2005, 27(4): 26-32.
- [29] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响. 中国科学: D 辑, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [30] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 黄土丘陵沟壑区县域耕地变化驱动要素研究: 以安塞县为例. 水土保持学报, 2003, 17(4): 146-148, 152.
- [31] 王晓峰, 任志远. 近 14 年榆林北六县土地利用变化及驱动力分析. 水土保持研究, 2006, 13(6): 201-204.
- [32] 卞德鹏, 常庆瑞, 柳艺博, 等. 黄土丘陵沟壑区耕地数量动态变化及其驱动力分析: 以吴起县为例. 干旱区农业研究, 2009, 27(3): 245-248.
- [33] 焦峰, 温仲明, 王飞, 等. 黄土丘陵县域尺度整体景观格局分析. 水土保持学报, 2005, 19(2): 167-170.
- [34] 史纪安, 陈利顶, 史俊通, 等. 榆林地区土地利用/覆被变化区域特征及其驱动机制分析. 地理科学, 2003, 23(4): 493-498.
- [35] 郭丽英, 刘彦随, 任志远. 生态脆弱区土地利用格局变化及其驱动机制分析. 资源科学, 2005, 27(2): 128-133.
- [36] 李志, 刘文兆, 杨勤科, 等. 黄土沟壑区小流域土地利用变化及驱动力分析. 山地学报, 2006, 24(1): 27-32.
- [37] 温仲明, 焦峰, 张晓萍, 等. 黄土丘陵区纸坊沟流域 60 年来土地利用格局变化研究. 水土保持学报, 2004, 18(5): 125-128, 133.
- [38] 李正国, 王仰麟, 张小飞. 陕北黄土高原景观动态的植被覆盖季节响应. 地理学报, 2005, 60(2): 299-308.
- [39] 伍永秋, 张清春, 张岩, 等. 黄土高原小流域植被特征及其季节变化. 水土保持学报, 2002, 16(1): 104-107.
- [40] 陈操操, 谢高地, 甄霖, 等. 泾河流域植被覆盖动态变化特征及其与降雨的关系. 生态学报, 2008, 28(3): 925-938.
- [41] 游珍, 李占斌. 小流域人类活动的时空分异的景观格局特征: 以纸坊沟流域为例. 干旱区资源与环境, 2007, 21(3): 89-94.
- [42] 张秋菊. 黄土丘陵沟壑区多尺度土地利用变化特征及其演变驱动力研究. 中国科学院生态环境研究中心博士学位论文, 2004.
- [43] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题. 地理科学, 2003, 23(3): 264-270.
- [44] 于兴修, 杨桂山. 中国土地利用/覆盖变化研究的现状与问题. 地理科学进展, 2002, 21(1): 51-57.
- [45] 陈佑启, 何英彬. 论土地利用/覆盖变化研究中的尺度问题. 经济地理, 2005, 25(2): 152-155.
- [46] 倪绍祥. 土地利用/覆被变化研究的几个问题. 自然资源学报, 2005, 20(6): 932-937.

Research on Landscape Pattern Change in Loess Plateau: Current Status, Issues and Trends

WANG Jiping^{1,2}, CHEN Liding¹, WANG Yafeng¹

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Landscape pattern change in Loess Plateau area has an important impact on the structure and function of the whole ecosystem, and even on global change. Based on the exploration of the concept and connotation of landscape pattern and land use pattern, the progress in the researches on landscape pattern change in the Loess Plateau area is reviewed from the aspects of quantitative analysis, spatial and temporal evolution and scale effect. Although great progress has been made over the last decades, there are still many problems to be explored thoroughly, such as landscape data selection and application, scale dependency analysis, establishment of assessment standards and so on. Finally, the future research trends are prospected in order to provide a scientific basis for the research on landscape pattern and process.

Key words: Loess Plateau; landscape pattern change; land use pattern; land use/land cover change; scale effect

本文引用格式:

王计平, 陈利顶, 汪亚峰. 黄土高原地区景观格局演变研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(5): 535-542.