第 37 卷 第 3 期
2017 年 5 月

中 国 沙 漠
JOURNAL OF DESERT RESEARCH

Vol. 37 No. 3
May 2017

磴口县景观格局演变特征及生态网络构建

于 强[1]，岳德鹏[1]，张启斌[1]，吕 奇[1]，李 宁[1]，侯宏冰[2]

（1. 北京林业大学，北京 100083；2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所，河北 石家庄 050061）

摘要：城市生态基础设施是城市可持续发展的基础，西部干旱区生态脆弱性大，县域尺度的生态基础设施网络是保证干旱区城市稳定与发展的重要保障。在快速城市化的背景下，选择西部典型生态脆弱区磴口县为研究区，运用景观格局指数、景观转移网络及核密度分析等方法，分析景观格局演变，在此基础上确定生态源地并分级，基于Cost Path 模型提取生态廊道与生态节点，构建城市化背景下基于景观格局演变的磴口县生态基础设施网络。结果表明：2014 年磴口县域景观破碎化程度高，景观生态流流动性差，城市与建设用地、荒漠灌木林地、耕地、沙漠之间的转移情况决定了磴口县整体景观变化的特征，2001—2014 年共存在 28 种景观转移关系；基于 Cost Path 模型构建的县域尺度生态基础设施优化网络共包含 391 块生态源地、47 466条生态廊道和 799 个生态节点。针对干旱区构建的县域尺度的城区防护型生态网络，能够为磴口县城市化发展提供重要保障，对干旱区城市生态规划具有重要的参考价值。

关键词：生态基础设施网络；城市化；景观格局演变；Cost Path 模型；磴口县

文章编号：1000-694X(2017)03-0601-09 **DOI：**10.7522/j.issn.1000-694X.2015.00254

中图分类号：K909 **文献标志码：**A

0 引言

全球目前正面临高强度的城市化进程，其发展模式呈现多元化，包括以西欧为代表的政府调控下的市场主导型发展模式、以美国为代表的自由放任的市场化发展模式及以拉美等为代表的发展中国家城市化发展模式[1]。城市化发展过程中人口剧增，自然景观被人工景观代替，生境破碎化严重，出现了城市热岛效应、灰霾效应、雨洪雨污效应等严重的生态环境问题[2]。生态基础设施的构建与优化一直以来是发达国家城市规划中的重点。中国城市化水平自改革开放以来飞快提升[3]，城市化水平由 1978 年的 17.9%增长到了 2014 年的 54.77%，东部沿海地区的城市化水平远远高于西部干旱区[4]。中国城市化进程呈现起步一加速一成熟三阶段特征，目前正处于快速城市化的阶段[5]。过快的发展导致了大量的问题：部分地区重城市轻农村的发展规划造成了城乡差距日渐扩大、市政设施完善而生态基础设施构建不足、景观结构破碎、生态环境极度恶化及多发的面源污染等[6]，合理的城市以及城乡结合部的生态基础设施构建与优化变得尤为重要，特别在中国西部干旱区生态脆弱带，由于资源的严重分布不均，大尺度的生态基础设施网络构建已经成为干旱区城区稳定的重要保障。

2002 年，“生态基础设施”概念开始应用于中国城市规划工作中。所谓生态基础设施，就是城市可持续发展所依赖的自然系统，是维护城市生态安全和健康的关键性空间格局，是城市和居民获得持续自然服务（生态服务）的基本保障，是城市扩张和土地开发利用不可触犯的刚性限制[2,7]。生态基础设施规划典型方法主要有结合“反规划”理论的土地利用规划方法[8]、生态基础设施与城市风貌相结合的方法[9]、网格化微观生态基础设施规划方法[10]、利用 GIS 和 RS 空间信息技术建立区域生态基础设施的基本方法[11]等。生态基础设施景观组分特征分析主要采用景观格局指数法，景观整体分析主要采用空间自相关分析和统计学方法。模拟景观格局动态变化主要有 CITY green 模型、地理加权回归模型、次序 Logit 回归模型、Logistic 回归模型、CA-Markov 模型等。城市生态安全格局、城市生态规划及城市适宜生态用地的核算多应用 MCR 模型[2]。在干旱区城市规划中以上方法均有应用，但多集中于城区水系、道路、林网等的规划，大尺度城市规划中应用较少。

收稿日期：2015-09-10；**改回日期：**2015-11-04
资助项目：国家自然科学基金项目（41371189）；国家科技支撑计划项目（2012BAD16B00）
作者简介：于强（1987—），男，吉林长春人，博士研究生，主要从事 3S 技术集成与应用。E-mail：1690926598@qq.com
通信作者：岳德鹏（E-mail：yuedepeng@126.com）

本文利用景观格局指数、景观转移网络和空间集聚分析法分析县域尺度 2000—2014 年景观格局时空演变特征,其中景观格局指数用于评判生态节点的重要性等级,景观转移网络和空间集聚分析用来筛选典型的生态源地,多年来频繁流转不稳定的生态用地不作为生态源地,采用 Cost Path 模型对 2014 年磴口县生态基础设施网络进行识别提取。磴口县位于乌兰布和沙漠东北缘,属于典型的生态脆弱带,县域尺度内有荒漠景观和绿洲景观两种景观类型,城区紧邻黄河,城市化进程迅速,有很大的发展空间,对于研究干旱区城市化扩张有很深远的意义。县域尺度的荒漠化防治生态基础设施网络是保证磴口县城发展的基础,对其进行景观格局时空演变研究以及生态网络识别构建必不可少且具有实际意义。

1 研究区概况

磴口县地处中国西北(40°13′N、107°05′E),位于黄河中上游内蒙古河套平原源头,背靠狼山山脉,西邻乌兰布和沙漠(图 1)。海拔1 030～2 046 m,整个地形除山区外,呈东南高西北低,逐渐倾斜。属中温带大陆性季风气候,平均风速 3.0 m · s^{-1},瞬间最大风速 28 m · s^{-1},多年平均降水量 143.9 mm,多年平均蒸发量2 327 mm,多年平均气温 7.6 ℃,无霜期 136 d。全县有 6 个土类,10 个亚类,31 个土属,258 个土种。黄河流经磴口县 52 km,年径流量 310 亿 m^3,共有水域面积 361 km^2。河套地区地下水埋深0.5～3 m,沙区地下水埋深3～10 m,山前洪积扇地下水埋深 3～30 m,丰富的地表水与地下水对磴口县发展以及城镇化过程中生态基础设施建设提供了有力保障。

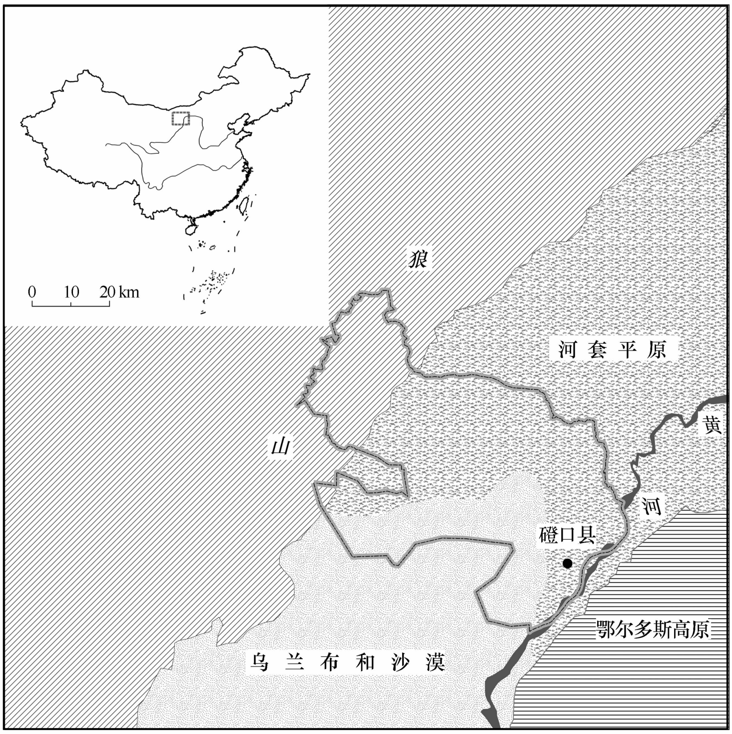

图 1 磴口县区位图

Fig. 1 Loation of Dengkou

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源及处理

选取磴口县夏季少云的 TM 影像(2000 年和 2007 年)和 OLI 影像(2014 年)为研究素材,同时利用研究区植被分布图、土地利用图、DEM 等作为辅助数据。利用 ENVI5.1 软件对影像进行波段合成、图像增强和几何校正处理,选择最大似然监督分类法对 3 期遥感影像进行分类并利用目视解译校正,提取磴口县的景观类型信息,景观类型包括山地景观、城市与建设用地、水体、耕地、盐碱地、沙漠以及荒漠灌木林地。使用 ArcMap10.2 进行细碎斑块处理,运用叠加分析工具进行空间数据分析,最终在 ArcInfo10.2 环境下完成拓扑和改错处理。采用空间叠置分析法生成不同时段景观变化图,在此基础上得到基于变化图的中心点密度数据,利用 Arc-

GIS10.2 软件核密度分析功能提取磴口县景观系统变化的空间集聚特征。

2.2　研究方法

2.2.1　景观格局指数

景观格局指数是景观格局不同侧面特征的概括提炼和定量反映，能够高度浓缩景观格局信息，是反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标[12－13]。利用景观分析软件 FRAGSTATS4.2(栅格版)计算各景观格局指数。为能够全面反映磴口县景观特征，景观水平上选取 6 个指数，包括斑块个数、斑块密度、多样性指数、蔓延度、均匀度和聚集度，类型水平上选择斑块密度、平均斑块面积、平均形状指数和平均连接度 4 个指数。蔓延度用于表征景观延展性，形状指数能够反映斑块的复杂程度，均匀度能反映景观内各组分所占比例，斑块密度能直接反映各景观组分的破碎化程度[14]，平均斑块面积和斑块密度相结合在景观水平上能够说明景观整体的细碎程度，各指数原理与意义详见文献[15－17]。

2.2.2　景观转移网络与景观变化的空间集聚特征

不同景观类型的变化过程既包含景观类型间数量的变化，也包含景观类型间转移方向的变化。本文基于 2000—2014 年多时段转移矩阵的结果，将转移矩阵作为一个复杂的网络加以分析，其中，分别把景观类型、不同景观类型间的相互转化视为网络的节点和边，转移量的多少作为边的属性[18－19]。利用 ArcGIS10.2 的空间分析功能进行景观流转、转移网络和景观系统变化的空间集聚特征计算[20－21]。

2.2.3　Cost Path 模型

生态网络是基于土地利用/覆盖现状及物种生境适宜性构建的由生态源地、节点及连通廊道构成的网络，保证了区域生态系统的物质循环、能量交换、信息传递[22]。将不同的地表类型视为耗费栅格，生态流可以向空间位置邻接的栅格流动，最易于生态流流动的路径则为生态廊道中的最优累计路径，Cost Path 模型用于确定生态源地与生态源地之间的成本最低路径，该路径的宽度为一个像元。本研究将不同地表类型视为耗费栅格，分别加权得到成本栅格，将生态源地作为输入的源，计算源地与源地之间的最低成本路径[20]。

在 Cost Path 模型中，如果输入目标为多个像元或区域，则最低成本路径可根据各像元、各区域或按照图层进行计算。如果只存在一个成本最低路径，根据模型算法则在输出栅格中将此路径编码赋值为 3。源区域(即为路径的发源地)内的像元赋值为 1，如图 2 所示。利用 ArcGIS10.2 软件的 Python 脚本语言实现 Cost Path 模型。

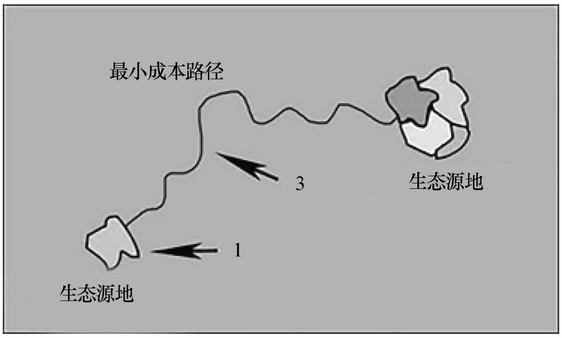

图 2　两个生态源地最小成本路径示意图

Fig. 2　Schematic diagram of minimum cost path under two ecological source areas

如果源自不同区域的两条或多条成本路径在通往源的路径上汇聚，并且在余下的距离中仍汇聚在一起，则通往像元的联合路径赋值为 2，源地之间则可生成最小成本路径，整体形成网络，从多个源地位置到某一单个源的成本路径如图 3 所示。

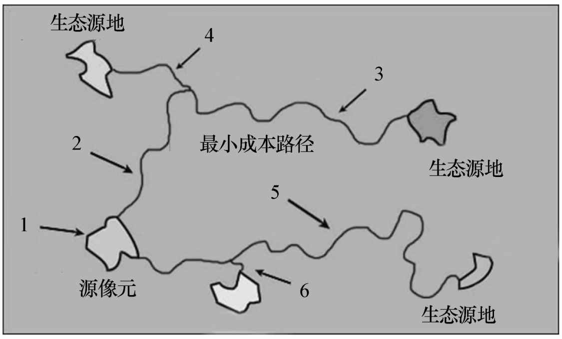

图 3　多个生态源地最小成本路径示意图

Fig. 3　Schematic diagram of minimum cost path under multiple ecological source areas

3　结果与分析

3.1　景观格局时空演变特征

3.1.1　县域尺度景观格局特征

磴口县城市化过程中，城市生态基础设施格局经过规划亦趋于完善，县域尺度的景观生态格局也随着城市化过程逐年发生变化。构建县域尺度的荒漠化防治生态基础设施格局，一方面对磴口县城市生态基础设施起到防护作用，另一方面县域尺度与城区尺度景观生态格局相耦合，共同发挥生态作用，能最有效地阻止沙漠扩张，保障城区的稳定与发展。

在景观水平上选择了 6 个景观格局指数对县域

尺度景观格局进行了分析(图4)。2007年的斑块个数和斑块密度均小于2000年,但2000—2014年斑块个数大幅度增加,增加了12 096个。聚集度整体呈下降趋势,表明磴口县景观越来越破碎化,则在进行生态网络构建中更应注重景观生态流的流通性,在进行区域生态环境建设中则更应注重林地、草地等绿色空间的联通性与连片性。多样性指数和均匀度却呈上升趋势,反映出景观类型向着中等景观要素集中,县域内存在典型的优势景观。2000年蔓延度是49.36%,2007年其值有所上升,但2014年蔓延度下降至47.12%,表明2014年景观优势斑块没有形成良好的连接性,景观中存在较多小斑块,景观格局是具有多种要素的密集格局,没有形成完整的生态网络,景观生态流的流动性较差,在磴口县生态网络构建的过程中,应从景观大尺度保证区域生态网络的连通性,景观生态网络格局还需要进一步优化。

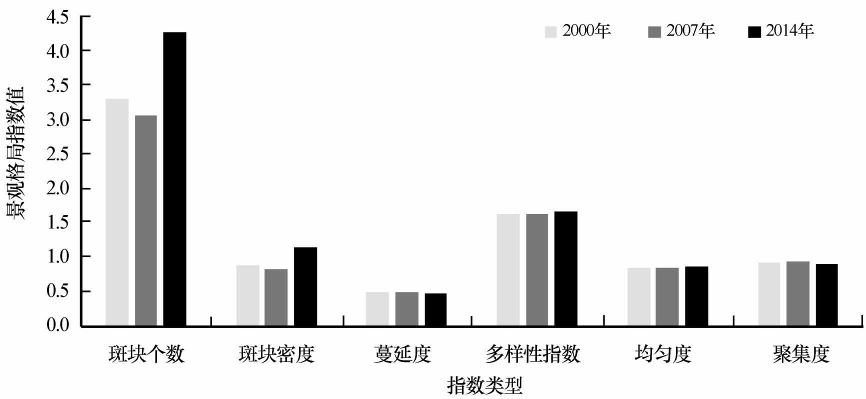

图4　景观水平景观格局指数

Fig. 4　Landscape pattern index at landscape level

在类型水平上选取了4个指数对磴口县3个时期各景观类型的景观格局变化进行了分析(图5)。整体来看,沙漠斑块的平均连接度明显下降,表明防沙治沙有所成效,在进行生态环境建设中应继续将大的沙漠斑块打碎,生态网络中应注重在生态脆弱处构建林地、草地,并形成小的生态网络。耕地、沙漠、荒漠灌木林地、城市与建设用地的斑块密度呈现上升趋势,耕地、沙漠、城市与建设用地和荒漠灌木林地的平均形状指数趋于稳定。从2000年到2014年,城市与建设用地斑块的平均连接度指数不断增大,表明在城市化发展过程中,城市与建设用地景观各单元之间相互联系的程度趋于紧密,城市呈扩张趋势。在生态网络构建中,一方面考虑城市扩张对生态网络的破坏作用,应加强城市绿色空间网络的构建,另一方面,区域生态网络的构建中应将城市绿色空间网络与区域生态网络相联通,以减缓建设用地对生态流的阻碍作用。荒漠灌木林地是防沙治沙、遏制沙漠化加剧的重要景观类型,磴口县荒漠灌木林地多位于耕地与城区外围,是沙漠景观与绿洲

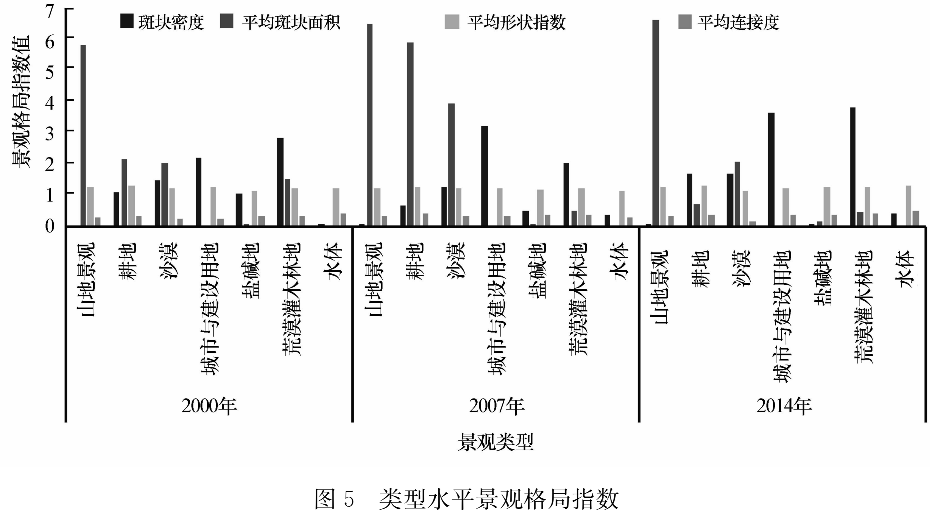

图5　类型水平景观格局指数

Fig. 5　Landscape pattern index at class level

景观之间的交错景观类型，生态作用十分显著，2014年其平均连接度最大达到 0.4344，其景观格局仍需继续优化，在生态网络构建中应重点建设荒漠灌木林地，增加其平均连接度。2014 年水体景观的平均斑块面积较 2000 年增大了近 5 倍，斑块密度也呈明显的增加趋势。水体作为重要的生态源地，是磴口县生态基础设施中最重要的要素，水体面积、密度、平均连接度的增加是县域尺度景观生态格局优化的重要基础，也是城区绿色空间稳定的重要保障，在磴口县生态环境建设中应进一步加强水体景观建设，保证生态源地的稳定，增加水体景观的连接度，形成水体网络。

3.1.2　县域尺度景观转移网络

磴口县县域尺度在 14 a 尺度上共存在 28 种景观转移关系，在众多的景观转移网络关系中，耕地、城市与建设用地、荒漠灌木林地、沙漠 4 种景观类型之间的相互转移占绝对优势(图 6)。2000—2014 年这 4 种景观类型相互转移累计贡献率占整个转移网络的 89.6%，表明耕地、城市与建设用地、荒漠灌木林地、沙漠之间的转移情况决定着磴口县整体景观变化的特征，水体、盐碱地、山地景观转移度很小。14 a 尺度上，沙漠转荒漠灌木林地 390.74 km^2，占整个转移网络的 19.59%，耕地转灌木林地为 184.04 km^2，占整个转移网络的 12.09%，耕地转城市与建设用地为 125 km^2，占整个转移网络的 8.21%，荒漠灌木林地也有 166.51 km^2 转为沙漠。不同时段内，景观类型转移程度又有所差异，2000—2007 年、2007—2014 年这 4 种景观类型相互转移累计贡献率分别达到 90.29%、90.71%，转移程度略有上升趋势。2007—2014 年耕地、沙漠转荒漠灌木林地的转移度最大，分别占转移网络的 22.46%、21.52%，2000—2007 年沙漠转灌木林地与灌木林地转沙漠的转移度相近，分别占转移网络的 19.26%和 18.87%。这表明由于磴口县城市化的发展，城区逐渐扩张的同时县域尺度景观格局也发生了变化，在构建县域尺度景观防护格局时，更应该注重对荒漠灌木林地景观的格局优化，保证荒漠灌木林地景观的生态防护作用，才能保证绿洲景观的稳定。县域尺度的生态基础设施的构建是磴口县城区生态基础设施发挥生态作用的重要保障。耕地、城市与建设用地、荒漠灌木林地、沙漠 4 种景观类型的相互转移主要受城市化、退耕还林工程、防沙治沙工程的影响，故在进行生态网络构建中应结合退耕还林工程和防沙治沙工程，准确选择生态网络关键区位进行治理与建设，另外将城市化进程与区域生态网络构建相结合，构建与区域生态网络相联通的城市绿色空间网络。

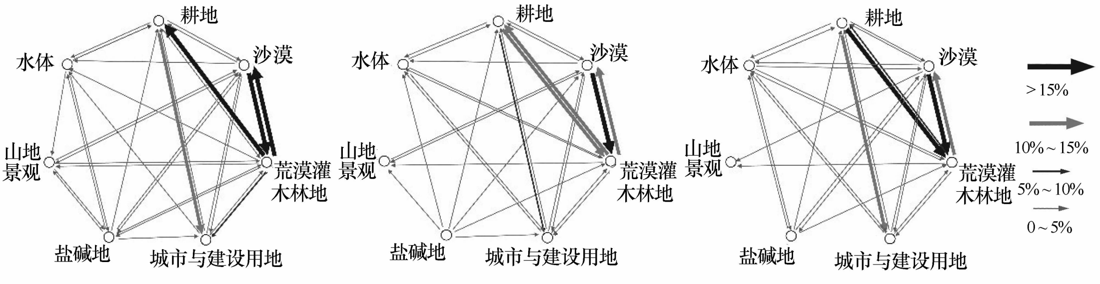

图 6　磴口县景观转移网络

Fig. 6　Landscape transfer network of Dengkou

3.1.3　县域尺度空间集聚特征

在 14 a 尺度上，景观变化热点区总体呈斑点状分布，与研究区内荒漠灌木林地和耕地分布变化基本保持一致，荒漠灌木林地和耕地系统附近为变化高值区(图 7)。各时段的景观类型变化均表现出不同的空间集聚格局，其中 2000—2007 年景观变化面积密度最大值为 90.54 $m^2 \cdot km^{-2}$，2007—2014 年景观变化面积密度最大值为 89.03 $m^2 \cdot km^{-2}$，热点区主要集中在伊和呼热南部、呼和陶乐盖西南部、博尔果德中部、温塔海东部、苏亥呼热中部，另外乌沈干渠和东风渠沿岸也是热点分布区。各时段热点区分布与水体的分布呈现正相关，这是因为干旱区耕地、荒漠灌木林地的生存与发展与水资源关系密切。这表明在进行县域尺度生态基础设施构建时，要充分考虑水资源承载力因素。

3.2　生态基础设施网络组分识别与构建

3.2.1　生态源地确定与分级

磴口县内共确定出 391 块生态源地，其中荒漠灌木林地斑块 271 个，水体斑块 120 个(图 8)。最小的生态源地斑块面积为0.1017 hm^2，最大的生态

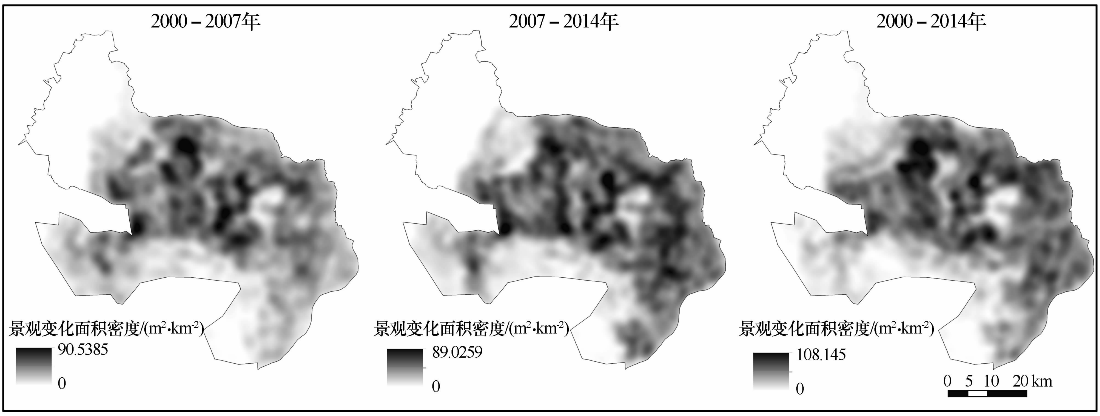

图7 磴口县景观集聚密度

Fig. 7 Landscape transfer density of Dengkou

源地斑块面积为3 010.1961 hm^2。根据源的影响力共分为4个等级,级别越高表示生态源地对四周的影响能力越强。1～4级生态源地面积总和分别为8 270.7879、8 462.1877、15 301.8445、3 010.1961 hm^2。磴口县城市化过程造成了对原有生态源地格局的破坏,但是人工水体、人工绿地的增加也产生了新的生态源地。城区周边的生态源地对城区的影响是极大的,距离较远的生态源地虽不能直接对城区产生积极的生态影响,但是其通过生态网络,对城区的防护也产生了积极的作用。

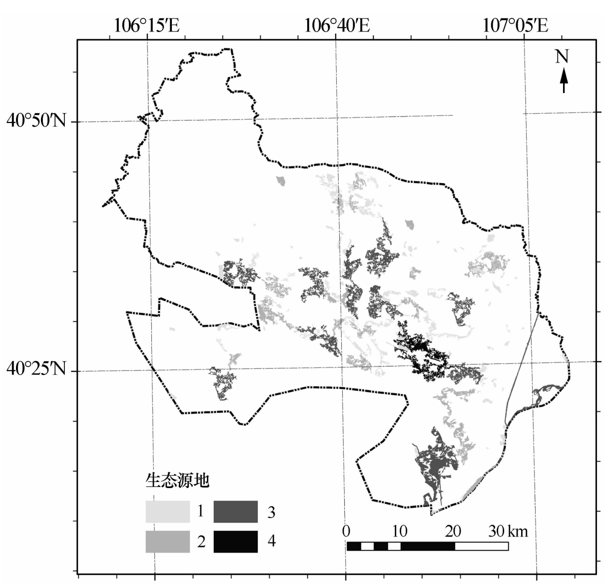

图8 磴口生态源地等级分布

Fig. 8 Ecological source levels distribution of Dengkou

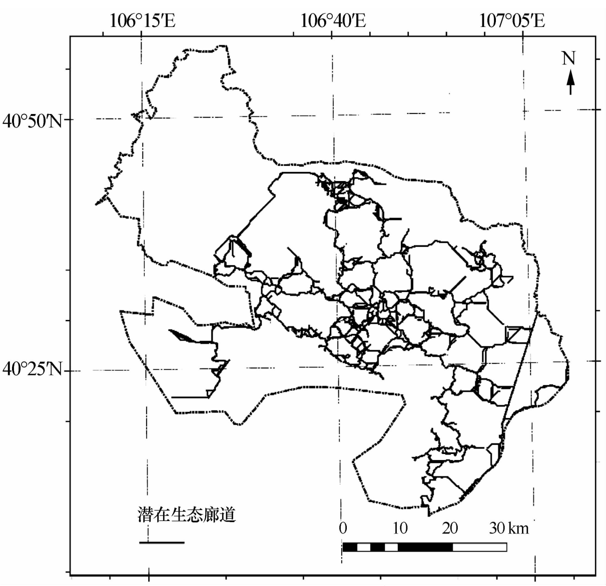

图9 磴口县生态廊道

Fig. 9 Ecological corridors of Dengkou

3.2.2 潜在生态廊道提取及密度

县域尺度内共提取出48 751条潜在生态廊道,其中有1 285条潜在生态廊道不具备生态廊道的条件(图9)。最短的潜在生态廊道为30 m,最长的潜在生态廊道为10 679 m。生态廊道密度最大值为8.3673,密度最小值为0(图10)。生态廊道密度较

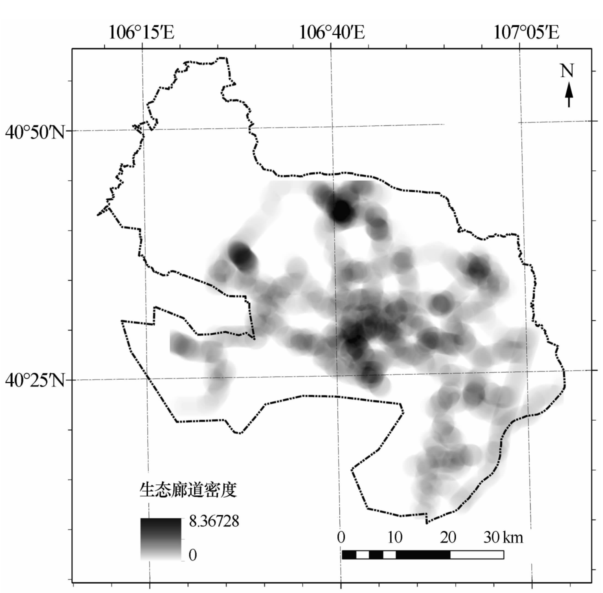

图10 磴口县生态廊道密度

Fig. 10 Ecological corridor density of Dengkou

高的区域主要包括磴口县中部的哈尔布图、那仁呼热、温塔海附近区域，东北部的查干楚鲁图、六连、何仑房子附近区域，西北部的哈勒金扎格附近区域以及城区周边区域。县域内所有生态廊道均为极重要级别。廊道是生态网络的基础骨架，不仅有传递景观流的作用，而且可看作呈带状的生态源地。城市化导致了大量生态廊道的切断；但是在城市化进程中，也有人工水体、绿道的建设，形成典型的水体廊道和道路廊道。城区外距离最近的一圈潜在生态廊道是对城区生态作用最直接的廊道。

3.2.3　潜在生态节点提取及分级

磴口县共有潜在生态节点 799 个（图 11）。生态节点最大密度为 3.3840，最小密度为 0，磴口县生态节点高密度区主要在中部和北部，城区周边存在 4 个生态节点高密度区。共有 13 个潜在生态节点被识别为盲区，其现状景观不能作为生态节点，盲区所在地区尚无生态节点，需要进行建设。根据景观连接度指数兼顾实地景观性质、建设周期、经济可行性等因素，最重要生态节点有 133 个，次重要生态节点有 182 个，一般重要生态节点有 484 个，分别用 1、2、3 表示。根据生态节点密度分析、盲区分析、重要性等级将磴口县生态节点划分为 8 个等级，综合评分分别为：2、3、4、6、8、9、12、18，评分越小等级越高，越应该给予重视。城市化会导致生态网络中盲区的增加以及生态节点的消失，生态节点建设至关重要。磴口县城区周围潜在生态节点较少，合理的节点分布能够保证城区荒漠化防护生态基础设施的整体稳定，景观生态流流动畅通，保证与城区生态基础设施形成生态整体。

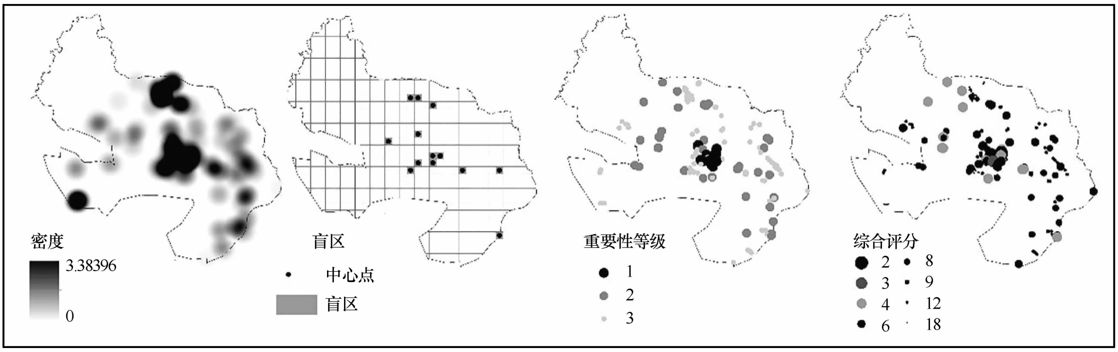

图 11　磴口生态节点密度、盲区、重要性等级、生态节点等级

Fig. 11　Density, blind area, importance values and level classification of ecological nodes of Dengkou

3.2.4　潜在生态网络

磴口县基础生态网络由 391 块生态源地、799 个潜在生态节点和48 751条潜在生态廊道组成（图 12）。磴口县城区处在生态网络之中，城区小尺度的生态基础设施与县域大尺度的生态基础设施相结合，利于城区的稳定发展。在此基础上确定出 1 级生态源地 353 个，2 级生态源地 24 个，3 级生态源地 13 个，4 级生态源地 1 个；1 级生态节点 133 个，2 级生态节点 182 个，3 级生态节点 484 个；重要生态廊道47 466条。在县域尺度上构成了点—线—面相互交织的生态基础设施优化网络。

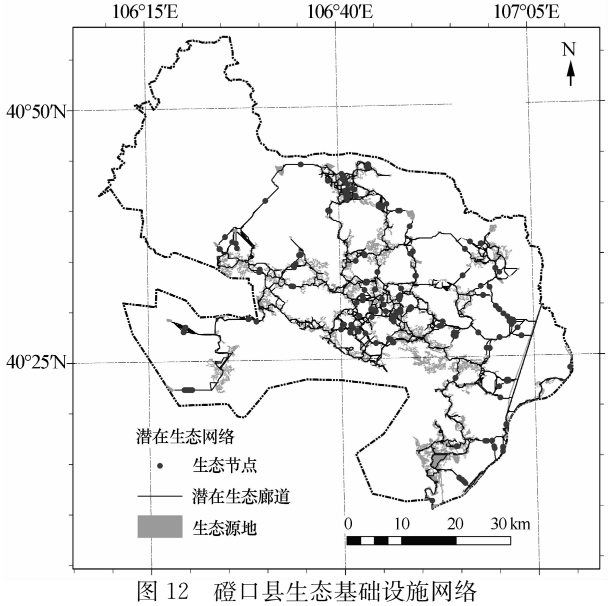

图 12　磴口县生态基础设施网络

Fig. 12　Ecological infrastructure network of Dengkou

4　结论

磴口县整体的生态环境稳定性与城区发展的稳定性受到日益加剧的沙漠化的威胁，县域尺度的荒漠化防治生态基础设施网络作用重大。

景观水平上，磴口县整体景观格局随城市化进程年际间变化较大，2000—2014年斑块个数大幅度增加，聚集度呈下降趋势，多样性指数和均匀度却呈上升趋势，蔓延度呈先上升后下降趋势，2014 年景观破碎化程度高，景观优势斑块连接性差，景观生态

流流动性较差。在进行生态网络构建中应注重景观生态流的流通性,在进行区域生态环境建设中应注重荒漠灌木林地、草地等绿色空间的联通性与连片性。类型水平上,2000—2014年沙漠斑块的平均连接度发生明显下降,耕地、沙漠、荒漠灌木林地、城市与建设用地的斑块密度呈现上升趋势,耕地、沙漠、城市与建设用地和荒漠灌木林地的平均形状指数趋于稳定,在生态网络构建中应重点建设荒漠灌木林地,增加其平均连接度。城市与建设用地斑块的平均连接度指数不断增大,2014年城市与建设用地相互之间联系紧密,城市扩张明显。县域尺度水系格局与灌木林地格局需要进一步优化,一方面考虑城市扩张对生态网络的破坏作用,应加强城市绿色空间网络的构建,另一方面,区域生态网络的构建中应将城市绿色空间网络与区域生态网络相联通,以减缓建设用地对生态流的阻碍作用。

在县域尺度14 a间共存在28种景观转移关系,城市与建设用地、荒漠灌木林地、耕地、沙漠之间的转移情况决定了磴口县整体景观变化的特征,转移特征主要受城市化、退耕还林工程以及防沙治沙工程的影响。保证荒漠灌木林地景观的生态防护作用,才能保证绿洲景观的稳定。构建县域尺度生态基础设施应考虑水资源承载力因素。利用Cost Path模型构建了磴口县生态网络,共确定了391块生态源地,分为4个等级。确定了47 466条生态廊道,均为极重要级别。共确定潜在生态节点799个,生态节点根据综合评分共分为8个重要性等级,其中盲区13个,盲区应着重建设。

参考文献:

[1] 王素斋.科学发展观视域下中国新型城镇化发展模式研究[D].天津:南开大学,2014.

[2] 李峰,王如松,赵丹.基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望[J].生态学报,2014,34(1):190-200.

[3] 陆媛媛,刘超,曾克峰,等.宁夏城市化与生态环境耦合协调关系[J].中国沙漠,2016,36(4):1-9.

[4] 宁越敏.中国城市化特点、问题及治理[J].南京社会科学,2012,10:19-27.

[5] 李国平,谭玉刚.中国城市化特征、区域差异及其影响因素分析[J].社会科学辑刊,2011(2):106-110.

[6] 汪冬梅.中国城市化问题研究[D].山东泰安:山东农业大学,2003.

[7] 俞孔坚."反规划"途径[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.

[8] 俞孔坚,袁弘,李迪华,等.北京市浅山区土地可持续利用的困境与出路[J].中国土地科学,2009,23(11):3-20.

[9] 俞孔坚,奚雪松,王思思.基于生态基础设施的城市风貌规划——以山东省威海市城市景观风貌研究为例[J].城市规划,2008(3):87-92.

[10] 朱强,李迪华,方琬丽.基于生态基础设施的格网城市模式——台州市永宁江中心段城市设计[J].城市规划,2005(9):81-86.

[11] 汪洋,赵万民,段炼.生态基础设施导向的区域空间规划战略——广州市萝岗区实证研究[J].中国园林,2009,25(4):59-63.

[12] 杨光.基于3S的盐池县景观格局及荒漠化动态研究[D].北京:北京林业大学,2008.

[13] 白海花,王林和,张国盛等.基于3S技术的鄂尔多斯市东胜区土地利用景观格局变化分析[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2012,33(2):89-95.

[14] 陈洪涛.吴起县生态环境数据库建立及林地景观分析[D].陕西杨陵:西北农林科技大学,2008.

[15] Wu J,Shen W,Sun W,et al. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics[J]. Landscape Ecology,2002,17:761-782.

[16] Wu J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations[J]. Landscape Ecology,2004,19:125-138.

[17] 邬建国.景观生态学[M].北京:高等教育出版社,2000:104-105.

[18] 王曼曼,吴秀芹,吴斌,等.近25 a盐池北部风沙区土地系统变化及空间集聚格局分析[J].农业工程学报,2014,30(21):256-267.

[19] 武鹏飞,宫辉力,周德民.基于复杂网络的官厅水库流域土地利用/覆被变化[J].地理学报,2012,67(1):113-121.

[20] 岳德鹏,王计平,刘永兵,等.京郊西北地区农地利用与景观格局时空特征[J].农业工程学报,2008,24(6):89-95.

[21] 王计平,程复,汪亚峰,等.生态恢复背景下无定河流域土地利用时空变化[J].水土保持通报,2014,34(5):237-243.

[22] 傅强,宋军,毛峰,等.青岛市湿地生态网络评价与构建[J].生态学报,2012,32(12):3670-3680.

The Evolution of Landscape Pattern and the Construction of Ecological Infrastructure Network in Dengkou, Inner Mongolia, China

Yu Qiang[1], Yue Depeng[1], Zhang Qibin[1], Lv Qi[1], Li Ning[1], Hou Hongbing[2]

(1.Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2.Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: Urban ecological infrastructure is the foundation of urban sustainable development. The ecology of arid area in West China is very fragile. The ecological infrastructure network of county scale is significant to ensure the stable development in the arid area. Under the background of rapid urbanization, Dengkou County, the typical ecological fragile zone in West China, was chosen as the study area. Landscape pattern index, landscape transfer network and kernel density mapping were used to analyze the landscape pattern evolution of the county. Then the ecological resources were identified and classified, and ecological corridors and ecological nodes were identified based on the Cost Path model. In addition, the urban ecological infrastructure network in the county scale was developed. The results show that the landscape of the county in 2014 was immensely damaged, and the ecological flow of landscape was poor. The transfer between urban/construction land, desert shrub land, farmland and desert determines the characteristics of the whole landscape changes in Dengkou County. There were totally 28 kinds of transfer relations during the 14 years. The optimization network of ecological infrastructure in county scale based on the Cost Path model is consisted of 391 ecological resources, 47 466 ecological corridors and 799 ecological nodes. The ecological infrastructure optimization network constructed for Dengkou County at the arid area is an important guarantee for the development and urbanization of the county, and is of significance for the ecological planning in arid area.

Key words: ecological infrastructure network; urbanization; landscape pattern evolution; Cost Path model; Dengkou County