

# 三大自然区过渡带生境质量时空差异及形成机制 ——以榆中县为例

刘春芳,王 川,刘立程

(西北师范大学地理与环境科学学院,兰州 730070)

**摘要：**以地处三大自然区过渡地带的榆中县为案例,分析了1995-2015年县域及内部分区生境质量演变的时空特征,借助地理探测器模型分析并探索了生境质量影响因素及其机制。结果表明:①全县生境质量变化保持稳定并略有提升,县域内部生境质量变化呈现出由南向北递减的三级梯度特征;②全县生境质量的地带间与地带内差异均趋于缩小,北部黄土高原区持续加大,中部平原区连续下降,南部山区则先缩小后增大;③全县及县域内部的影响因素及机制因为地理尺度的差异而不同。自然环境变量对生境质量变化发挥着基础和关键性的作用,社会经济变量呈现出减小的态势,而政策调控变量对生境质量的影响则越来越大,各因子间的协同增强效应推动了生境质量的变化。

**关键词：**三大自然区过渡带;生境质量;时空差异;影响因素;机制

DOI: 10.11821/dljy201802014

## 1 引言

快速的工业化和城镇化促使城乡土地利用空间不断转型与重构,进而对区域生境产生较大冲击并影响着区域生态系统服务水平。生境是指生物出现的环境空间范围,一般指生物生活的生态地理环境,主要包括气候、地形、土壤等环境因子<sup>[1]</sup>,以及它们依赖及作用的场所<sup>[2]</sup>。生境质量是指在一定的时间和空间中生态系统提供适宜个体与种群持续发展生存条件的能力,是对人类生存繁衍、生产生活的适宜程度,是一切生态系统功能和服务的前提和基础<sup>[3-6]</sup>。生境质量被视为区域生物多样性和生态服务水平的重要表征和反映,也是区域生态安全保障和人类福祉提升的关键环节<sup>[7-9]</sup>。研究区域生境质量的时空特征及影响因素,掌握生境质量的变化规律,是制定区域可持续发展对策的前提,也是进行土地利用规划、建设和管理的一项不可或缺的基础性工作,具有重要的学术价值和现实意义。

早期的生境研究主要关注特定物种的生境条件地域分异特征及对物种的影响与作用<sup>[8]</sup>。进入2000年以来,国内外学者就不同尺度生境质量评价指标体系构建和评价方法完善、生境质量的模型模拟和情景分析、土地利用与生境变化、城市化、资源政策对区域生境质量的调控开展了大量基础研究和应用研究<sup>[10,11]</sup>。总的来看,学者们对生境质量已经展开了多方面、多尺度的研究<sup>[12-16]</sup>。但大量的研究者都把研究视角放在人类发展对生境质量带来的影响及可采取的措施上,关于生境质量变化的时空特征及其影响因素研究相对较少。已有的对生境影响因素的分析多包含在对特定物种的潜在生境预测过程中,且大多是将自然环境、地理区位、人类干扰和社会经济等影响生境状况的因素纳入模型进行单

收稿日期:2017-08-24; 修订日期:2017-11-18

基金项目:国家自然科学基金项目(41771130)

作者简介:刘春芳(1978-),女,甘肃定西人,副教授,研究方向为国土整治与区域规划。

E-mail: liuchunfang@nwnu.edu.cn

因素分析,综合探讨其对生境质量的影响及其作用机制的文献较少。同时,研究对象多以自然保护区和流域为分析对象,城市群、省域等研究尺度虽偶有涉及<sup>[17-19]</sup>,但以自然保护区过渡带等生态敏感、脆弱地域为研究对象,从地理学视角系统梳理其生境质量时空特征及其影响因素的研究鲜见。

自然保护区过渡带是中国重要的地域生态系统,针对该地域的研究一直是地理学与生态学关注的热点与重点<sup>[20-23]</sup>。东部季风区、西北干旱半干旱区、青藏高原区三大自然区,是根据中国地形、地质构造、土壤植被等因素划分的典型自然地理分区<sup>[24]</sup>。这三大自然区的过渡带,在不同的空间尺度和地理位置,其地形、气候、水文、土壤、植被等要素都存在着明显的过渡性特征<sup>[25]</sup>,这使得生境质量及其变化呈现出特殊性与地域性。改革开放以来,伴随着快速的工业化与城市化,过渡带区域的人文社会经济活动与生境质量之间的关系与联系不断强化,生境质量的时空变化也变得更为复杂。因此,选择三大自然区过渡带的典型区域,从地理学视角去分析和探索自然保护区过渡带生境质量的时空分异特征及影响机制,既能深化和拓展地理学对地域生境质量的研究,又能为区域生态安全格局构建和空间优化提供重要的理论基础与实践指导。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究思路与研究区概况

县(区)是中国行政区划体系中的重要组成部分,社会经济活动具有较强的独立性和完整性。20世纪90年代以来,中国县域经济开始快速发展,其生境质量变化也非常显著和典型。基于以上认识,以地处三大自然区过渡带的典型区域榆中县为研究对象,通过评估不同时间序列生境质量的变化,试图清晰地刻画三大自然区过渡带不同尺度(县域、县域内部)生境质量的时空演化特征。在此基础上,利用地理探测器模型,综合考虑自然环境、人类干扰和社会经济等解释变量,分析和讨论过渡带区域不同尺度(县域、县域内部)生境质量的影响因素与机制。

榆中县地处甘肃省会兰州市的东部,位于黄土高原、青藏高原两大高原和三大自然区的交汇处,由23个乡镇组成,总面积3308.64 km<sup>2</sup>(图1)。特殊的地理位置和自然条件,使其形成了从南至北明显的过渡性地理与生态格局。南部山区属于祁连山山系东延部分,沿县界从西北到东南由马啣山和兴隆山组成,包括银山乡、马坡乡、新营乡、龙泉乡4个乡镇。该区域降水量大、植被茂密,是全县主要林区、草原区和重要的生态屏障,承担着市域水源涵养、生物多样性保护等多种生态功能。中部平原区由兴隆山山前冲积洪积平原组成,是城镇及工农业发展的集中区,包括城关镇、金崖镇、定远镇、来紫堡乡等13个乡镇。该区社会经济活动频繁,是复杂系统、多样生态的交错区,更是生态优化发展的重点区域。北部黄土高原区是陇中黄土高原西缘,包括青城镇、贡井乡、哈岷乡、中连川乡等6个乡镇。该区域降水量小,植被稀疏,是典型的生态脆弱区和生态治理的重点区域。

### 2.2 数据获取与变量选择

选择1995年、2005年、2015年三个时段,对案例区域的生境质量变化及其影响因素进行分析与评价。土地利用数据源于USGS与EROS提供的遥感数据<sup>①</sup>,解译时以榆中县

① 三期遥感数据采用的是美国地质调查局(USGS)对地观测资源与科学中心(Earth Resources Observation and Science Center, EROS)提供的空间分辨率为30 m(行列号:130/35)、秋季无云层覆盖的Landsat TM遥感数据(<http://glovis.usgs.gov/>)。

2015年土地利用变更调查数据为基准, 首先对2015年遥感数据进行人工目视解译, 在此基础上再对1995年和2005年遥感数据进行解译。统一采用WGS\_1984坐标系, 参考土地利用现状分类标准(GB/T 21010-2007)及研究区土地利用特点建立二级分类体系。通过野外抽样验证, 三期分类数据判读精度高于93%。

影响区域生境质量的因素很多, 涉及到自然条件、社会经济等诸多方面。已有文献大多从单要素对生境质量进行了分析和评价, 尤其强调了自然环境对生境质量的影响。论文所研究的自然区过渡带, 自然环境脆弱, 社会经济发展水平低但发展意愿强烈, 政策调控干预也比较强。因此, 针对该区域自然条件及发展水平, 结合数据的可获取性, 选取自然环境、社会经济及政策调控三类共14个变量去解释区域生境质量的空间分异特征, 构成地理探测器因子集(表1)。自然环境方面主要考虑了气候、地形及景观的影响, 社会经济方面主要考虑了交通区位、经济水平及社会发展的影响, 政策调控方面则主要考虑了退耕还林与土地整治的影响。

## 2.3 研究方法

**2.3.1 生境质量评估** 运用InVEST模型中的生境质量模块(Habitat Quality)对榆中县的生境质量进行评估。模块以土地利用数据为基础, 利用生境适宜度、胁迫因子(威胁地类)影响距离与权重、各生境类型对胁迫因子的敏感性进行生境质量评估, 其计算公式如下<sup>[26]</sup>:

$$Q_{xy} = H_j \left[ 1 - \left( \frac{D_{xy}^z}{D_{xy}^z + k^z} \right) \right] \quad (1)$$

式中:  $Q_{xy}$ 为土地利用/覆被类型 $j$ 中 $x$ 栅格的生境质量指数;  $H_j$ 为土地利用/覆被类型 $j$ 的生境适宜度, 值域为[0,1];  $D_{xy}$ 为土地利用/覆被类型 $j$ 中 $x$ 栅格的生境的退化度;  $k$ 为半饱和常数, 取最大退化度(由模型运算得到)的一半;  $z$ 为归一化常量, 是模型默认参数。 $D_{xy}$ 通过以下公式计算:

$$D_{xy} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left( w_r / \sum_{r=1}^R w_r \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (2)$$

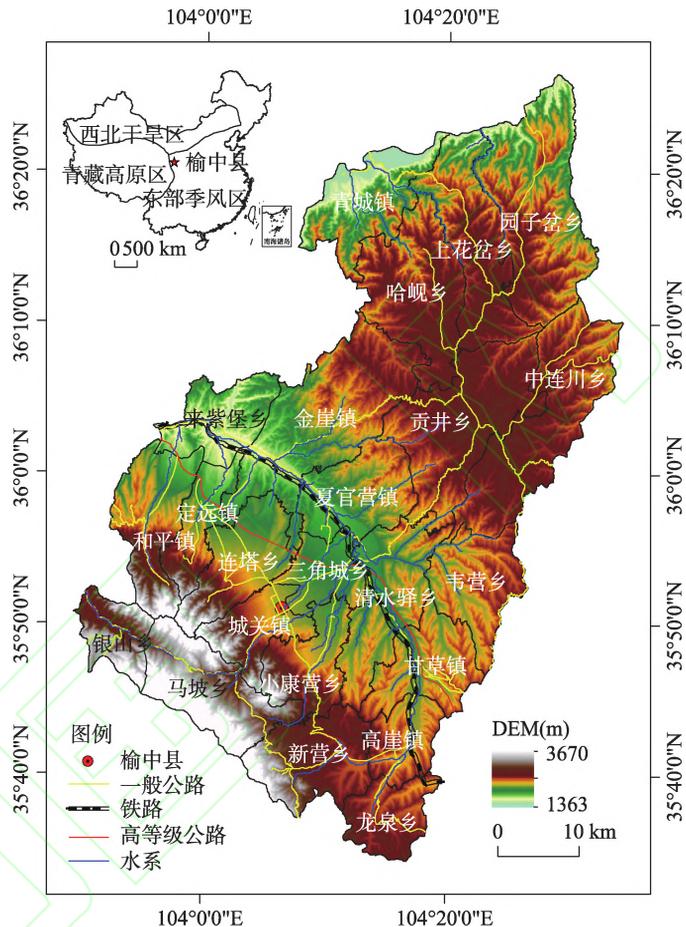


图1 榆中县位置及地形

Fig. 1 Location and topography of Yuzhong county

表1 生境质量影响因素探测指标体系  
Tab. 1 The index system of influencing factors of habitat quality

一级指标	二级指标	三级指标	具体指标	计算方法 / 数据来源
自然环境	气候因子	X1	年均降雨量	榆中县气象局
		X2	年均气温	榆中县气象局
	地形因子	X3	起伏度	基于填洼处理后的DEM在GIS使用Block Statistics工具提取
		X4	平均海拔	基于填洼处理后的DEM在GIS中使用分区统计工具提取
	景观因子	X5	平均斑块面积	利用Fragstats 4.2软件计算
		X6	破碎度	利用Fragstats 4.2软件和破碎度计算公式计算
社会经济	交通区位	X7	距县城距离	乡镇中心点到县城中心点的交通距离
		X8	交通便捷度	道路长度/总面积
	经济水平	X9	工农业总产值	《榆中县统计提要》
		X10	粮经比	粮食产量/(油料产量+蔬菜产量+瓜果产量)
	社会发展	X11	农民人均纯收入	《榆中县统计提要》
		X12	人口密度	总人口数/总面积
政策调控	土地整治	X13	土地整治规模	榆中县国土局
	退耕还林	X14	退耕还林规模	林地增加面积

注：由于2000年以前乡镇降雨量和年均温无监测点分布、数据获取难度大，部分乡镇和部分年份数据不完整，因此部分数据采用的是相邻年份值插值法补齐。

$$i_{rxy} = 1 - \left( \frac{d_{xy}}{d_{r\max}} \right) \quad (\text{线性衰减}) \quad (3)$$

$$i_{rxy} = \exp\left(\frac{-2.99d_{xy}}{d_{r\max}}\right) \quad (\text{指数衰减}) \quad (4)$$

式中： $R$ 为胁迫因子个数； $W_r$ 为胁迫因子 $r$ 的权重； $Y_r$ 为胁迫因子的栅格数； $r_y$ 为栅格 $y$ 胁迫因子值； $i_{rxy}$ 为栅格 $y$ 的胁迫因子 $r$ 对栅格 $x$ 的胁迫水平； $\beta_x$ 为胁迫因子对栅格 $x$ 的可达性； $S_{jr}$ 为生境类型 $j$ 对胁迫因子 $r$ 的敏感程度； $d_{xy}$ 为栅格 $x$ 与栅格 $y$ 的直线距离； $d_{r\max}$ 为胁迫因子 $r$ 的最大胁迫距离。

模型中胁迫因子的最大影响距离及权重、各土地利用类型对生境胁迫因子的敏感程度需要根据研究区具体情况进行调整。本文向熟悉该研究区域的中国科学院西北生态环境资源研究院（筹）、兰州大学、甘肃农业大学、榆中县国土资源局、榆中县环保局等单位共25位不同领域专家发放问卷，对胁迫因子影响距离、权重以及各生境类型对胁迫因子的敏感性进行打分，采用德尔菲法（Delphi）综合确定各项参数最终值。

**2.3.2 生境质量时空差异测度** 采用变异系数、泰勒指数来测度生境质量的区域差异程度。这两个指数常常被用于测度要素发展的不均衡或差异性，在地理学研究已广泛用于空间差异分析<sup>[27,28]</sup>，其优点是可以消除单位和平均数不同对结果的影响。为了更细致地刻画自然区过渡带研究区生境质量的空间特征，将北、中、南三大地带各乡镇的生境质量与全县平均值进行比较，衡量各区域生境质量演进过程中的变化差异，从而进一步考察研究区生境质量变化的空间特征。

$$CV = \frac{1}{\bar{h}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n-1}} \quad (5)$$

式中： $CV$ 为变异系数； $n$ 为乡镇数； $h_i$ 为 $i$ 乡镇的生境质量指数； $\bar{h}$ 为 $h_i$ 的平均值。变异

系数越大表明差异越大。

泰勒指数可将生境质量的总体差异分解为南、中、北三大地带内及地带间的差异。

$$Theil = \sum_{i=1}^n T_i \ln(nT_i) = T_{WR} + T_{BR} \quad (6)$$

$$T_{WR} = \sum_{i=1}^{n_b} T_i \ln\left(n_b \frac{T_i}{T_b}\right) + \sum_{i=1}^{n_z} T_i \ln\left(n_z \frac{T_i}{T_z}\right) + \sum_{i=1}^{n_n} T_i \ln\left(n_n \frac{T_i}{T_n}\right) \quad (7)$$

$$T_{BR} = T_b \ln\left(T_b \frac{n}{n_b}\right) + T_z \ln\left(T_z \frac{n}{n_z}\right) + T_n \ln\left(T_n \frac{n}{n_n}\right) \quad (8)$$

式中:  $T_{WR}$ 为三大地带内差异;  $T_{BR}$ 为三大地带间差异;  $n$ 为乡镇数;  $n_b$ 、 $n_z$ 、 $n_n$ 分别为北、中、南部乡镇数;  $T_i$ 为 $i$ 乡镇的生境质量指数与全县平均水平的比值;  $T_b$ 、 $T_z$ 、 $T_n$ 分别为北、中、南部生境质量指数与全县平均水平的比值。

**2.3.3 生境质量影响因素与机制分析** 地理探测器 (Geographical Detector) 是探测空间分异、揭示其背后驱动因子的一种统计学方法<sup>[29,30]</sup>。目前该方法已被广泛应用于从国家、区域、城市到乡镇不同尺度的自然与社会经济问题研究<sup>[31-33]</sup>。在这些应用中, 地理探测器主要被用来分析各种现象的驱动力和影响因子以及多因子交互作用。本文运用地理探测器中的因子探测器和交互探测器模型对过渡区域生境质量的影响因素进行识别, 进而对区域生境质量的空间分异机制进行探讨。

因子探测器: 主要测度不同因子对生境质量空间差异的解释程度。计算公式为<sup>[34]</sup>:

$$P_{D,H} = 1 - \frac{1}{n\sigma_H^2} \sum_{h=1}^L n_h \sigma_h^2 \quad (9)$$

式中:  $P_{D,H}$ 为影响因子 $D$ 对生境质量 $H$ 的解释力;  $n$ 、 $\sigma_H^2$ 分别为整个区域的样本量和方差;  $n_h$ 、 $\sigma_h^2$ 为 $h$  ( $h=1,2,\dots,L$ ) 层样本量和方差。  $P_{D,H}$ 取值范围为 $[0,1]$ , 数值越大表明分类因素对生境质量的解释力越强。

交互探测器: 主要探测各变量之间影响生境空间分异的相互关系。原理如下: 若  $P(x \cap y) < \min(P(x), P(y))$ , 说明因子 $x$ 和 $y$ 交互后非线性减弱; 若  $\min(P(x), P(y)) < P(x \cap y) < \max(P(x), P(y))$ , 说明因子 $x$ 和 $y$ 交互后单因子非线性减弱; 若  $P(x \cap y) > \max(P(x), P(y))$ 说明, 因子 $x$ 和 $y$ 交互后双因子加强; 若  $P(x \cap y) > P(x) + P(y)$ , 说明因子 $x$ 和 $y$ 交互后非线性加强; 若  $P(x \cap y) = P(x) + P(y)$ , 说明因子 $x$ 和 $y$ 相互独立。

### 3 三大自然区过渡带区域生境质量时空发展特征

#### 3.1 生境质量变化的时间差异

对1995-2015年榆中全县生境质量指数的分析表明, 全县生境质量总体保持稳定, 略有提升(图2)。生境质量指数从1995年的0.3523提高到2015年的0.3530, 阶段性波动特征并不明显, 20年提高了0.2%。这与全国“退耕还林”工程全面实施下自然生态环境的改善密切相关。榆中县作为黄河上游退耕还林的重点区域, 2002-2004年共实施退耕地造林、荒山荒地造林和封山育林面积4300 hm<sup>2</sup>, 使得1995-2005年全县生境质量指数提高了0.91%; 进入2006年后, 由于“退耕还林”工程暂时性放缓、退耕还林成果管护不善以及城市化进程的加快, 2005-2015年全县生境质量指数出现0.7%的小幅下降。

县域内部三大地带生境质量指数的变化呈现出由南向北递减的三级梯度特征(图2), 这与三大地带经济发展格局的变化基本一致。1995-2015年间, 北部地带生境质量指数稳步提升, 增长率为2.74%; 南部和中部地区生境质量指数则在下降, 降低率分别为

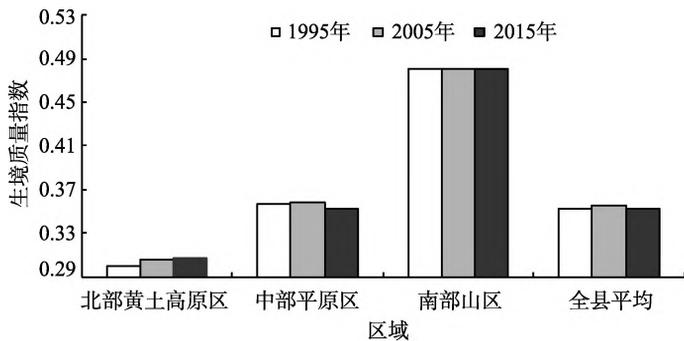


图2 1995-2015年榆中县生境质量指数变化

Fig. 2 Change of habitat quality index in Yuzhong county from 1995 to 2015

量指数的样本均值进行分析,进一步验证了三大地带的明显的阶梯性差异。南部地区的生境质量水平一直保持在最高,远远大于中北部地区。

### 3.2 生境质量变化的空间差异

选用Theil指数和变异系数CV考察研究区生境质量变化空间差异的演变趋势。如图4所示,全县及各分区生境质量变异系数和Theil指数的变化趋势基本相同,数据分析结果可用。20年间全县、地带内、地带间Theil指数均呈现出平稳的下降趋势。全县变异系数由1995年的0.2786下降到2015年的0.2717,下降了2.48个百分点;Theil指数由1995年的0.0342下降到2015年的0.0324,下降了5.2个百分点。这表明20年间全县生境质量的空间差异在逐渐缩小,呈现逐渐收敛的趋势。同时,由泰勒指数可以看出,1995-2015年全县地带内差异均大于地带间差异,地带内差异与总体差异更为接近,说明全县生境质量总体差异主要由地带内差异引起,其贡献率平均达84.72%。

虽然全县生境质量的地带间与地带内差异均趋于缩小,但南、中、北部地带内差异演变情况存在较大差别。20年间北部地带内部差异则呈持续加大的态势,Theil指数由1995年的0.00021提高到2015年的0.00047,升高了129个百分点;中部地带内部差异连续下降趋势,Theil指数由1995年的0.00999下降到2015年的0.00963,下降了3.64个百分点;南部山区内部差异在总体来说逐渐缩小,Theil指数由1995年的0.01823下降到2015年的0.01782,下降了2.22个百分点,但由于退耕还林项目的停滞,2015年又略有

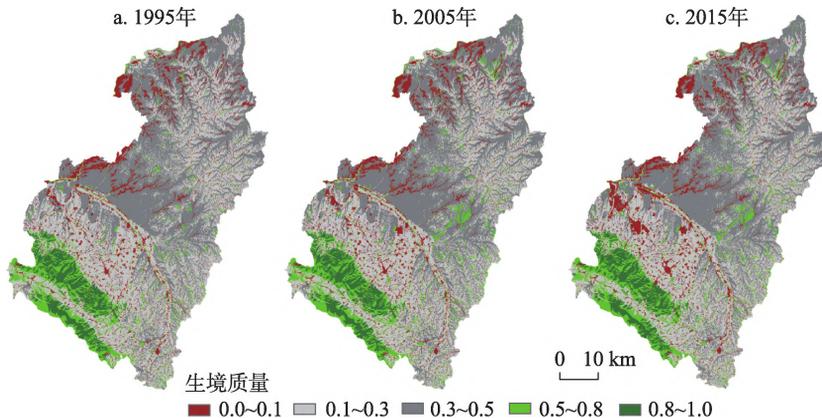


图3 榆中县生境质量指数的空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of habitat quality index in Yuzhong county

0.29%、1.26%。究其原因,主要是由于全县退耕地造林、荒山荒地造林主要集中于北部黄土丘陵山区,加之中部平原地区为县域小城镇重点发展区,2005年前后建设用地规模增长较快,以及南部山地存在零星草场退化等情况所导致。尽管如此,区域生境质量格局依然保持“南—中—北”阶梯式递减的总体特征。如图3,对北、中、南部三大地带生境质量

回升。总体来看,三大地带内生境质量指数发展空间差异同样呈现出由南向北递减的三级梯度特征,北部地带乡镇间的差异最小,中部地带次之,南部差异最大。

#### 4 三大自然区过渡带生境质量演化机制

上文的分析发现县域及内部分区生境质量演化存在着明显的时空分异,利用因子探测器及交互探测器方法,进一步从县域以及内部分区两个层面分析和探索生境质量变化的影响因子及其演化机制。

##### 4.1 生境质量影响因子探测及其分析

根据1995-2015年全县及三大分区的所有变量贡献率的计算结果发现,各因子对全县生境质量变化都发挥着不同程度的作用,但没有特别突出的因子(图5)。这主要是由于分析尺度较大而均质化了内部差异,从而导致影响因子作用被“削弱”而呈现扁平化趋势。从贡献率变化来看,6个自然环境因子总体表现为持续增长,而6个社会经济因子的贡献率趋于下降,2个政策因子在2005年之后对生境质量变化的影响逐渐显现。20年来,自然环境因素对全县生境质量变化起着基础和关键性作用,这些因素稳定了全县的生境质量并推动其空间差异的逐渐缩小。社会经济要素对生境质量变化的影响呈现出明显波动,尤其是经济水平因素和社会发展因素对生境质量变化贡献持续减小。政策调控方面,退耕还林、土地整治尽管总体贡献较小,但影响在逐渐加大,表明政策调控对生境质量的提升初见成效。

相对于南部和中部,北部黄土高原的自然条件较差,降雨量小且蒸发量大。1995年以来,该区域生境质量不断提高,这与人口密度持续降低,退耕还林面积不断增加密切相关。但由于地形地貌差异以及社会经济活动的不同,加之退耕还林主要集中在贡井乡、中连川乡等地,导致内部的空间差异持续加大。20年中,自然环境变量中的降雨量 $X_1$ 、起伏度 $X_3$ 、海拔 $X_4$ 、平均斑块面积 $X_5$ 的贡献率虽有不同程度的下降,但对该区域生境质量的提高仍然保持着重要影响。社会经济变量中的距县城距离 $X_7$ 、交通便捷度 $X_8$ 、工农总产值 $X_9$ 、农民人均纯收入 $X_{11}$ 在三个时段的贡献均较大,它们和前面的4个自然环境因子一起,是影响生境质量变化的主要因子。值得注意的是,三个时间段的第一主因子都来自社会经济方面。进入2015年,土地整治 $X_{13}$ 成为第二主因子,和退耕还林 $X_{14}$ 一起,反映了政策调控对生境质量变化的积极作用。

1995年以来,随着城镇化的较快发展,中部平原区生境质量在不断降低的同时,内

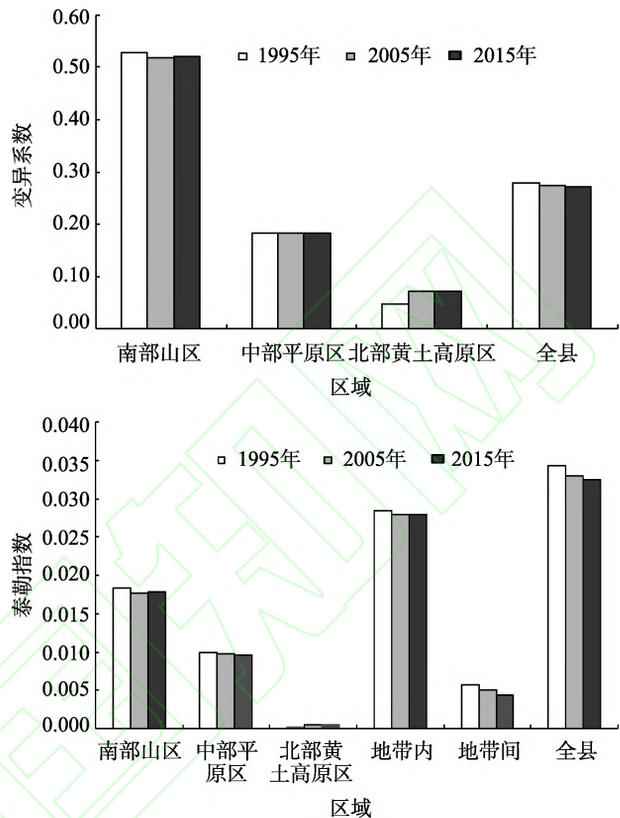


图4 1995-2015年榆中县生境质量指数区域差异

Fig. 4 The regional difference of habitat quality index of Yuzhong county from 1995 to 2015

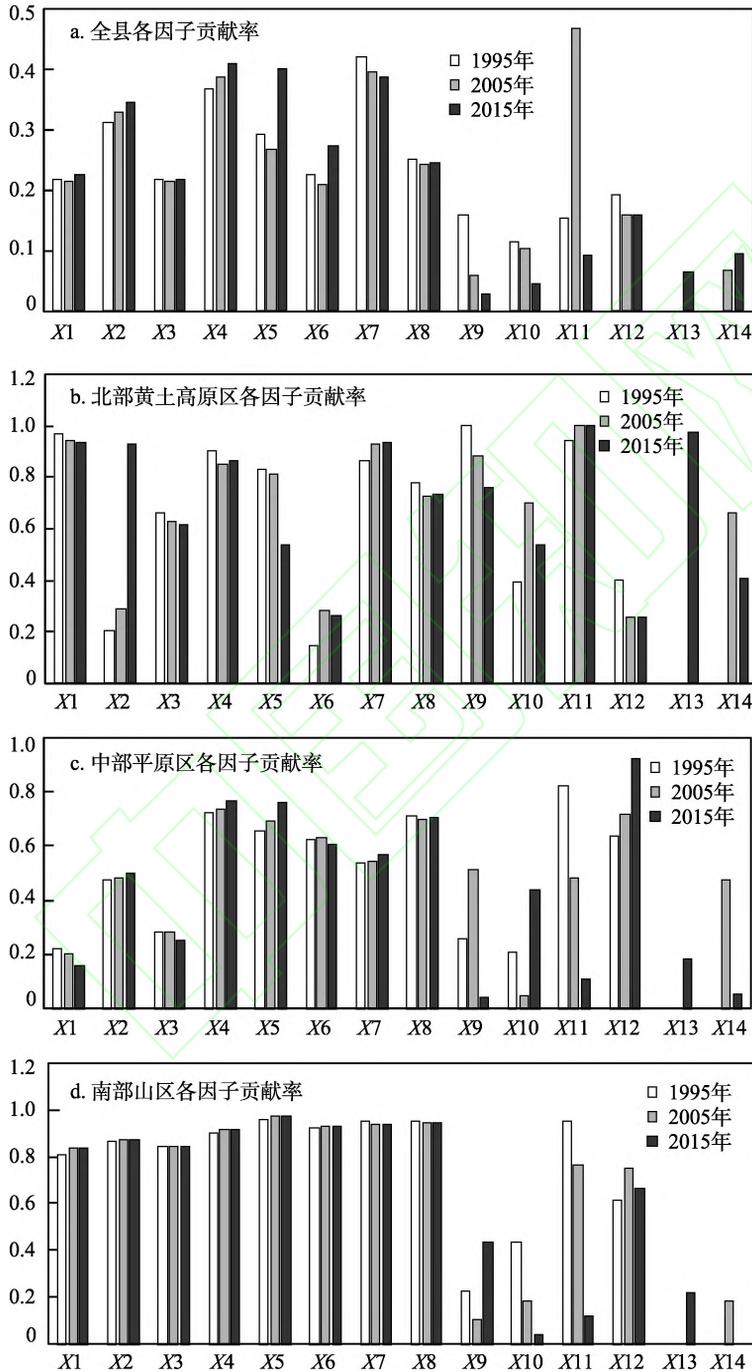


图5 1995-2015县域及内部分区各因子贡献率

Fig. 5 The contribution rate of each factor in county and inner zones (1995-2015)

部的空间差异也持续缩小。三个时期的分析表明，海拔X4、平均斑块面积X5、破碎度X6、距县城距离X7、交通便捷度X8、人口密度X12是影响该区域生境质量变化的主要因子。其中，海拔X4、平均斑块面积X5的贡献率持续增大，说明地形因素、景观因素对中部平原区生境质量变化的贡献在不断提高，这与平原区一体化的快速发展及其所带来的

土地破碎化密切相关。社会经济方面,距县城距离 $X_7$ 、人口密度 $X_{12}$ 的贡献率持续增大,人口密度 $X_{12}$ 在2015年成为第一主因子,说明交通的便捷程度和人口密度的变化对平原区生境质量的重要影响。从因子数量来看,中部地区社会经济变量中的主因子明显多于自然环境变量的主因子,反映了社会经济发展是该区域生境质量降低的主要原因。由于不是退耕还林和土地整治的重点区,政策调控因子对该区域生境质量变化的影响较北部黄土高原区小。

20年间,南部山区生境质量不断降低,其内部空间差异呈现出小幅度“先缩小后增大”的特征,但总体保持稳定。分析表明,三个时期的气候、地形、景观、区位因素保持着稳定的高贡献率且持续增长,这充分说明自然环境因子是该区域生境质量空间分异的主要影响因素,如草场退化明显导致该区域生境质量的降低。社会经济方面,交通便捷度 $X_8$ 、距县城距离 $X_7$ 两个因子的贡献率一直保持着主导地位,这说明交通区位对南部山区生境质量变化持续发挥着较大影响。同时,由于南部山区产业发展及农民收入来源的多样化,导致社会经济发展水平各因子的贡献率呈现出明显的分化。政策调控方面,由于土地整治和退耕还林在乡镇间的不均衡,导致该区域生境质量内部差异呈现“先缩小、后增大”的微弱变化。

#### 4.2 生境质量演化机制

上文分析了14个影响因子对榆中生境质量变化的重要性,但在实际作用中,是不同因子间的复杂互动共同推动了生境质量的变化。进一步的交互探测分析也证实了,无论是在县域还是县域内部各分区之间,三个年度各因子之间对生境质量变化都呈现出协同增强作用(表2)。

就县域整体而言,因子之间的交互关系表现为非线性增强作用和双因子增强共存,但前者明显作用大于后者。1995-2015年间,自然因子和社会经济因子之间一直表现出较强的交互作用。各类型因子的交互强弱依次表现为:自然和社会经济因子的交互强于自然因子内部交互及社会经济因子内部交互。政策调控因素在2005年开始发挥作用,表现为政策变量与自然变量及社会经济变量之间的交互作用逐渐加强。可以得出,尽管自然环境变量对于县域生境质量变化非常重要,但在实际作用过程中,自然环境变量与社会

表2 县域及内部分区主要交互因子及其变化

Tab. 2 The main interaction factors of county and inner zones and their changes

年份	县域	北部黄土高原区	中部平原区	南部山区
1995	$X_4 \cap X_{12}(0.94870)$	$X_3 \cap X_7(1.00000)$	$X_4 \cap X_9(1.00000)$	$X_6 \cap X_8(1.00000)$
	$X_3 \cap X_7(0.90234)$	$X_1 \cap X_9(0.99998)$	$X_6 \cap X_{11}(0.99939)$	$X_1 \cap X_{10}(0.99999)$
	$X_4 \cap X_6(0.89341)$	$X_4 \cap X_8(0.99668)$	$X_1 \cap X_4(0.99896)$	$X_5 \cap X_{11}(0.99988)$
	$X_4 \cap X_8(0.88954)$	$X_7 \cap X_{11}(0.94806)$	$X_2 \cap X_4(0.99704)$	$X_3 \cap X_{10}(0.99977)$
	$X_5 \cap X_7(0.88855)$	$X_5 \cap X_7(0.93389)$	$X_4 \cap X_{11}(0.99600)$	$X_3 \cap X_7(0.99735)$
2005	$X_5 \cap X_{11}(0.97223)$	$X_4 \cap X_{10}(1.00000)$	$X_6 \cap X_{10}(1.00000)$	$X_4 \cap X_8(1.00000)$
	$X_4 \cap X_6(0.89568)$	$X_1 \cap X_{11}(0.99576)$	$X_2 \cap X_4(0.99853)$	$X_5 \cap X_8(0.99999)$
	$X_3 \cap X_7(0.89471)$	$X_2 \cap X_7(0.99261)$	$X_1 \cap X_4(0.99821)$	$X_5 \cap X_{10}(0.99978)$
	$X_8 \cap X_{11}(0.88808)$	$X_4 \cap X_8(0.97250)$	$X_5 \cap X_7(0.99430)$	$X_3 \cap X_7(0.99170)$
	$X_5 \cap X_7(0.87370)$	$X_5 \cap X_7(0.94349)$	$X_6 \cap X_{12}(0.99084)$	$X_1 \cap X_6(0.97554)$
2015	$X_4 \cap X_6(0.94820)$	$X_6 \cap X_8(1.00000)$	$X_6 \cap X_{13}(1.00000)$	$X_4 \cap X_9(1.00000)$
	$X_4 \cap X_8(0.90006)$	$X_1 \cap X_9(0.99668)$	$X_1 \cap X_4(0.99999)$	$X_5 \cap X_8(0.99998)$
	$X_3 \cap X_7(0.89510)$	$X_4 \cap X_{13}(0.97597)$	$X_2 \cap X_4(0.99998)$	$X_4 \cap X_{11}(0.99988)$
	$X_2 \cap X_6(0.88327)$	$X_1 \cap X_{12}(0.94893)$	$X_5 \cap X_{10}(0.99895)$	$X_5 \cap X_{10}(0.99976)$
	$X_6 \cap X_7(0.87689)$	$X_2 \cap X_{14}(0.93751)$	$X_{10} \cap X_{12}(0.99523)$	$X_6 \cap X_9(0.99263)$

注:限于篇幅,仅列出了各年度县域及分区部分因子作交互用值。

经济变量之间有明显的协同增强效应,尤其是交通区位因素、社会发展水平因素与自然要素之间的协同作用最强。进入2005年之后,随着“退耕还林”及土地整治的落实与推进,政策调控方面的因子与社会经济因子之间的互动作用加强,共同推动了生境质量的变化。

对县域内部三大分区的交互探测分析也发现:各因子之间的交互主要是双因子和非线性两种增强效应类型。北部黄土高原区和中部平原区因子之间的交互关系主要表现为双因子增强作用占绝对优势,非线性增强作用较弱。而南部山区在三个时间段的变化,几乎都是双因子增强效应。1995-2015年间,三大分区各类因子之间的交互作用表现出与县域相同的特征:自然因子和社会经济因子之间交互作用明显强于自然因子内部交互及社会经济因子内部交互。2005年以来,政策调控因素与自然因子及社会经济因子之间的交互作用不断加强,具体表现为:北部黄土高原区最强,其次是南部山区,而中部平原区相对较弱。这与国家精准扶贫政策主要集中在北部黄土高原区和南部山区有关。

总体而言,相较于县域整体,其内部不同分区生境质量演化的影响因素及其作用机制更为复杂,这显然是自然区过渡带复杂的自然与人文经济地理条件下多因素协同增强作用的结果。自然环境要素对三大区域的生境质量变化一直发挥着基础性和关键性的作用。但由于所处自然区过渡带的自然与经济地理特性,气候因素、地形因素、景观因素等方面,尤其是单个影响因子,具体的作用都不尽相同。在所有影响生境质量及其空间分异的变量中,自然变量、社会经济变量与政策变量共同起着主导作用。当政策变量与社会经济变量共同作用时,政策变量会增强社会经济变量对生境质量变化影响的力度,当自然变量与社会经济变量共同作用时,社会经济变量会增强自然变量对生境质量影响的力度,正是由于这些变量间的共同作用导致区域生境质量发生了变化。

## 5 讨论

对三大自然区过渡带县域及内部分区的实证研究,从地理学视角并运用地理学分析方法探讨了该地域生境质量的时空分异特征及其影响机制,对过渡带区域生境质量以及过渡带地理学研究具有一定的理论贡献,深化了地理学对地域生境质量的研究。

### 5.1 不同因子间的复杂互动下的协同增强效应共同推动了全县生境质量的变化,但其具体的演化机制在县域和内部不同分区则不同

随着地理尺度的变化与时间变化,生境质量时空演化的影响因素也发生着相应的改变。已有的研究探索了省际区域层面的生境质量演变<sup>[7]</sup>,本文验证了地理尺度的差异对区域生境质量变化及其机制研究的重要性,进一步拓展了地理学对于尺度问题的研究。县域尺度影响因子的贡献度分析表明,并没有占明显优势的主因子。内部分区则发现,自然与人文经济地理条件的不同,影响因子对生境质量及其变化的贡献也会不同。正因为如此,不同因子间的复杂互动下的协同增强效应共同推动了全县生境质量的变化,但其具体的演化机制在县域和内部不同分区则不同。当然,由于数据获取的限制,本文在各因子的影响及作用机制分析方面,还难以对过渡带区域的复杂因子互动进行更准确地分析与刻画,这需要在后续的研究中深入探索。

### 5.2 区域生境质量的优化与提升不仅关系到生态环境的改善,也直接影响着城乡居民的生计与福祉

本文对自然区过渡带生境质量的研究,发现了不同的自然条件对生境质量的影响是有差异的,而不同的社会经济活动及政策措施会增大或缩小这一差异。因此,需要采取

差异化的策略去优化区域生境质量以及生态安全格局的构建。由于城镇化的快速发展,中部平原区的生境质量有所降低,但该区域整体工业化水平较低,主体仍然是以农业及农产品加工为主,并不能说明生境质量的降低一定是社会经济活动单方面作用所造成的。事实上,近20年来,政府在交通等基础设施、生态绿化设施方面的投入,极大地改善了生境质量。同时,研究也表明了土地整治和退耕还林政策的落实,的确有效地提升了区域生境质量。所以,在具体执行时,需要从可持续发展的角度进一步统筹考虑政策制定对社会经济及自然环境带来的影响,从而提高政策的针对性与有效性。

## 6 结论

以中国三大自然区过渡带的典型区域——甘肃省榆中县为例,利用多源数据及变异系数、泰勒指数等方法分析并评价了1995-2015年间区域生境质量的时空变化,并借助地理探测器分析讨论了榆中县域及内部生境质量演化的影响机制。

(1) 20年来,榆中县生境质量总体保持稳定并略有提升,但由于地处自然区过渡带,生境质量存在着明显的空间分异。随着时间和地理空间尺度变化而变化,总体呈现出由南向北递减的三级梯度特征。北部黄土高原区生境质量不断提高,中部平原区和南部山区的生境质量则出现不同程度下降。这种地理分布的形成及变化与不同地域的自然条件、社会经济发展水平及空间格局较吻合。

(2) 全县生境质量地带间与地带内差异均趋于缩小,这主要由地带内差异所决定,地带内差距变动贡献率大于地带间贡献率。综合比较全县、地带间、地带内生境质量指数发展的相对差异变动过程,可以看出,北部黄土高原区、中部平原区地带内的变动趋势接近全县水平的变动趋势,特别是北部地带内部变动趋势与全县水平的变动趋势有较高的一致性。

(3) 自然环境要素对三大区域的生境质量变化一直发挥着基础性和关键性的作用,自然条件的改善无疑会提高生境质量。自然环境要素对生境质量变化一直发挥着稳定性的作用,自然条件的改善影响着生境质量的变化。随着社会经济发展水平的逐渐提高和国家对生态环境问题的重视,社会经济要素对生境质量的影响程度在减弱,而政策调控因素的影响程度在逐渐加强。当然,社会经济要素及政策调控要素对生境质量的影响也是通过与自然环境要素的协同作用,进而影响到生境质量及其空间差异的变化。

## 参考文献(References)

- [1] Shelford V E. An experimental and observational study of the chinch bug in relation to climate and weather. Champaign Illinois Natural History Survey, 1932, 19(6): 487-554.
- [2] Johnson M D. Habitat quality: A brief review for wildlife biologists. *Trans. West. Wildl. Soc.*, 2005, 41(1): 31-41.
- [3] 刘智方,唐立娜,邱全毅,等.基于土地利用变化的福建省生境质量时空变化研究. *生态学报*, 2017, 37(13): 4538-4548. [Liu Zhifang, Tang Lina, Qiu Quanyi, et al. Temporal and spatial changes in habitat quality based on land use change in Fujian province. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(13): 4538-4548.]
- [4] 戴尔阜,王晓莉,朱建佳,等.生态系统服务权衡:方法、模型与研究框架. *地理研究*, 2016, 35(6): 1005-1016. [Dai Erfu, Wang Xiaoli, Zhou Jianjia, et al. Methods, tools and research framework of ecosystem service trade-offs. *Geographical Research*, 2016, 35(6): 1005-1016.]
- [5] 郝梦雅,任志远,孙艺杰,等.关中盆地生态系统服务的权衡与协同关系动态分析. *地理研究*, 2017, 36(3): 592-602. [Hao Mengya, Ren Zhiyuan, Sun Yijie, et al. The dynamic analysis of trade-off and synergy of ecosystem services in Guanzhong Basin. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 592-602.]
- [6] 邵全琴,刘纪远,黄麟,等.2005-2009年三江源自然保护区生态保护和建设工程生态成效综合评估. *地理研究*,

- 2013, 32(9): 1645-1656. [Shao Quanqin, Liu Jiyuan, Huang Lin et al. Integrated assessment on the effectiveness of ecological conservation in Sanjiangyuan National Nature Reserve. *Geographical Research*, 2013, 32(9): 1645-1656.]
- [7] 钟莉娜, 王军. 基于 InVEST 模型评估土地整治对生境质量的影响. *农业工程学报*, 2017, 33(1): 250-255. [Zhong Lina, Wang Jun. Evaluation on effect of land consolidation on habitat quality based on InVEST model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(1): 250-255.]
- [8] 陈妍, 乔飞, 江磊. 基于 InVEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的影响研究: 以北京为例. *北京大学学报: 自然科学版*, 2016, 52(3): 553-562. [Chen Yan, Qiao Fei, Jiang Lei. Effects of land use pattern on regional scale habitat quality based on InVEST model: A case study in Beijing. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*. 2016, 52(3): 553-562.]
- [9] 褚琳, 黄翀, 刘庆生, 等. 2000-2010 年辽宁省海岸带景观格局与生境质量变化研究. *资源科学*, 2015, 37(10): 1962-1972. [Zhu Lin, Huang Chong, Liu Qingsheng, et al. Changes of coastal zone landscape spatial patterns and ecological quality in Liaoning province from 2000 to 2010. *Resources Science*, 2015, 37(10): 1962-1972.]
- [10] 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 等. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变. *应用生态学报*, 2015, 26(11): 3457-3466. [Wu Jiansheng, Cao Qiwen, Shi Shuqin, et al. Spatio-temporal variability of habitat quality in Beijing-Tianjin-Hebei Area based on land use change. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2015, 26(11): 3457-3466.]
- [11] Grinnell J. The Niche-Relationships of the California thrasher. *Auk*, 1917, 34(4): 427-433.
- [12] Burel F, Baudry J. Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes: The role of land use systems at various scales in time. *Ecological Indicators*, 2005, 5(4): 305-313.
- [13] Foley JA, Defries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [14] Allan J D. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution & Systematics*, 2004, 35(1): 257-284.
- [15] Miserendino M L, Casaux R, Archangelsky M, et al. Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Science of the Total Environment*, 2011, 409(3): 612-624.
- [16] Polasky S, Nelson E, Pennington D, et al. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: A case study in the state of Minnesota. *Environmental & Resource Economics*, 2011, 48(2): 219-242.
- [17] Wang L, Lyons J, Kanehl P, et al. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. *Environmental Management*, 2001, 28(2): 255-266.
- [18] Anadon J, Gimenez A, Martinez M, et al. Assessing changes in habitat quality due to land use changes in the spur-thighed tortoise *Testudo graeca*, using hierarchical predictive habitat models. *Diversity & Distributions*, 2007, 13(3): 324-331.
- [19] Lafontaine L, Fortumeau E, Mainsant S. Influence of habitat quality factors on otter *Lutra lutra* L. distribution in Brittany, NW France: A statistical approach for assessing recolonization probabilities. In: *Viith International Otter Colloquium-Otter Conservation, An Example for A Sustainable Use of Wetlands*, 2002, 19A: 191-197.
- [20] 刘世梁, 尹艺洁, 杨珏姝, 等. 漫湾库区景观破碎化对区域生境质量的影响. *生态学报*, 2017, 37(2): 619-627. [Liu Shiliang, Yin Yijie, Yang Yujie, et al. Assessment of the influences of landscape fragmentation on regional habitat quality in the Manwan Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(2): 619-627.]
- [21] 张甜, 彭建, 刘焱序, 等. 基于植被动态的黄土高原生态地理分区. *地理研究*, 2015, 34(9): 1643-1661. [Zhang Tian, Peng Jian, Liu Yanxu, et al. Eco-geographical regionalization in Loess Plateau based on the dynamic consistency of vegetation. *Geographical Research*, 2015, 34(9): 1643-1661.]
- [22] 许传阳, 陈志超, 郝成元, 等. 暖温带和北亚热带过渡区白云山植物物种多样性与环境因子相关性. *生态环境学报*, 2014, 23(3): 371-376. [Xu Chuanyang, Chen Zhichao, Hao Chengyuan, et al. Research on the correlation between plant species diversity and its main environmental factors of Mt. Baiyunshan in the transitional region from warm temperate zone to subtropical zone. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, 23(3): 371-376.]
- [23] 袁志良, 陈云, 韦博良, 等. 暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析. *生态学报*, 2013, 33(24): 7819-7826. [Yuan Zhiliang, Chen Yun, Wei Boliang et al. Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7819-7826.]
- [24] 黄秉维. 中国综合自然区划草案. *科学通报*, 1959, 4(18): 594-602. [Huang Bingwei. The integrated nature division draft of China. *Chinese Science Bulletin*, 1959, 4(18): 594-602.]
- [25] 李育, 朱耿睿. 三大自然区过渡地带近 50 年来气候类型变化及其对气候变化的响应. *地球科学进展*, 2015, 30(7): 791-801. [Li Yu, Zhu Gengrui. Changes of climate zones in the transition area of three natural zones during the past 50

- years and their responses to climate change. *Advances in Earth Science*, 2015, 30(7): 791-801.]
- [26] Richard Sharp, Rebecca Chaplin Kramer, Spencer Wood, et al. InVEST 3.3.0 User's Guide. 2015. <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/>, 2017-03-04.
- [27] 黄晓燕, 曹小曙, 李涛. 中国城市私人汽车发展的时空特征及影响因素. *地理学报*, 2012, 67(6): 745-757. [Huang Xiaoyan, Cao Xiaoshu, Li Tao. The spatio-temporal of urban private car ownership in China and their influencing factors. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6): 745-757.]
- [28] 赵雪雁, 王伟军, 万文玉. 中国居民健康水平的区域差异: 2003-2013. *地理学报*, 2017, 72(4): 685-698. [Zhao Xueyan, Wang Weijun, Wan Wenyu. Regional inequality of residents' health level in China: 2003-2013. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(4): 685-698.]
- [29] 丁悦, 蔡建明, 任周鹏, 等. 基于地理探测器的国家级经济技术开发区经济增长率空间分异及影响因素. *地理科学进展*, 2014, 33(5): 657-666. [Ding Yue, Cai Jianming, Ren Zhoupeng, et al. Spatial disparities of economic growth rate of China's national-level ET Dzs and their determinates based on geographical detector analysis. *Progress in Geography*. 2014, 33(5): 657-666.]
- [30] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [31] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 等. 中国村庄空间分布特征及空间优化重组解析. *地理科学*, 2016, 36(2): 170-179. [Yang Ren, Liu Yansui, Long Hualou, et al. Spatial distribution characteristics and optimized reconstructing analysis of rural settlement in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(2): 170-179.]
- [32] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jingfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [33] 湛东升, 张文忠, 余建辉, 等. 基于地理探测器的北京市居民宜居满意度影响机理. *地理科学进展*, 2015, 34(8): 966-975. [Zhan Dongshen, Zhang Wenzhong, Yu Jianhui, et al. Analysis of influencing mechanism of residents' livability satisfaction in Beijing using geographical detector. *Progress in Geography*, 2015, 34(8): 966-975.]
- [34] 刘彦随, 杨忍. 中国县域城镇化空间特征与形成机理分析. *地理学报*, 2012, 67(8): 1011-1020. [Liu Yansui, Yang Ren. The spatial characteristics and formation mechanism of the county urbanization in China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1011-1020.]

## **Spatio-temporal variation on habitat quality and its mechanism within the transitional area of the Three Natural Zones: A case study in Yuzhong county**

LIU Chunfang, WANG Chuan, LIU Licheng

(Geography and Environment College of Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Habitat quality is an important proxy for the service level of a biological system, and is also critical for the maintenance of regional ecological security and human wellbeing. Evaluating the spatiotemporal variations that result from land use changes can therefore provide the scientific basis for regional ecological protection and land management. Thus, taking Yuzhong County as a case study, which is located in the transitional area of the Three Natural Zones, this paper examines the spatiotemporal characteristics of habitat quality and its evolution over the period between 1995 and 2015 based on coefficient of variation and Taylor index. Choosing 14 explanatory variables, such as rainfall, distance to the county center, and area of land remediation, this paper explores by means of geographic detector analysis the factors that influence habitat quality and its evolution across a range of different spatial levels. The results of this analysis reveal that, in the first place, habitat quality throughout the whole county has remained stable and has improved slightly over the last 20 years. However, due to variations in natural and socioeconomic conditions, internal changes in habitat quality within the three sub-regions considered in this study are different from one another, consistent with an overall decrease along a south - north transect. Secondly, the differences in habitat quality between the three regions, as compared to the differences within them, have tended to decrease over time. Over the period of this analysis, variations in habitat quality continued to increase on the Loess Plateau in the north, declined continuously in the Middle Plain Area, and initially descended then ascended in the Southern Mountain Area. Thirdly, geographic scale is an important component that must be considered for evaluating habitat quality changes, as factors and mechanisms vary at different levels. Natural environmental variables play a fundamental role in habitat quality changes; on the other hand, the effect of socioeconomic variables on habitat quality has become weaker over time, whereas the effect of policy variables has become greater. Furthermore, synergism occurs amongst the different factors. Considering the importance of different policies based on different geographical scales, this paper proposes relevant policy suggestions for optimizing habitat quality within comparable areas.

**Keywords:** the transition area of Three Natural Zones; habitat quality; spatial and temporal difference; influencing factors; mechanism