

# 甘肃省城镇化与生态环境耦合协调度

韩 燕<sup>1,2</sup>, 张玉婷<sup>1</sup>

(1.兰州交通大学 经济管理学院, 兰州 730070;

2.中国科学院 地理科学与资源研究所 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101)

**摘 要:**以甘肃省各地级市为对象,利用熵权法确定指标权重,通过耦合协调度模型及地理探测器等方法,分析了 2009—2018 年甘肃省城镇化与生态环境系统耦合协调度的时空动态演变与影响因素。结果显示:(1) 甘肃省各市城镇化及生态环境子系统水平均呈上升趋势,80%的城市城镇化水平低于生态环境水平,属于“城镇化滞后”型城市。(2) 甘肃省城镇化与生态环境耦合度及耦合协调度呈现波动提升趋势,但增长幅度较小。耦合度整体上处于拮抗阶段和磨合阶段,耦合协调度整体处于中度失调水平,且空间差异较大。(3) 各影响因子对研究区耦合协调度的影响存在差异,10 年间绝大多数因子对耦合协调度影响力加强。其中人均社会消费品零售总额、人均耕地面积、人均拥有市辖区建成区面积、人均工业废水排放量等指标对耦合协调度影响较大。因此,应根据主要影响因素制定精准发展策略,促进城镇化与生态环境协调发展。

**关键词:**城镇化; 生态环境; 耦合协调关系; 地理探测器; 甘肃省

**中图分类号:**F293.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2021)03-0256-08

## Coupling and Coordination Development Between Urbanization and Eco-environment in Gansu Province

HAN Yan<sup>1,2</sup>, Zhangyu Ting<sup>1</sup>

(1.School of Economics & Management, Lanzhou Jiaotong University,

Lanzhou 730070, China; 2.Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Taking 12 prefecture-level cities in Gansu Province as the research objects, based on entropy weight method and coupling coordination model, we analyzed the coordination degree's space-time dynamic evolution and influencing factors between urbanization and ecological environment in Gansu Province from 2009 to 2018. The results showed that: (1) the level of urbanization and eco-environment subsystems of cities in Gansu Province had been continuously improving, with 80% of urbanization levels being lower than the ecological environment level, and they were classified as 'lagging urbanization' cities; (2) the coupling degree and coupling coordination degree between urbanization and ecological environment in Gansu Province showed the rising trend of fluctuation, but the growth rate was small; the coupling degree was in the antagonistic stage and the running-in stage as a whole, and the coupling coordination degree was in a moderate imbalance level, and the spatial difference was large; (3) the influence factors had different influences on the coupling coordination degree in the study area, and the influence of most factors on the coupling coordination degree had been strengthened in 10 years, among which the total retail sales of consumer goods per capita, the area of cultivated land per capita, the area of built-up areas per capita of municipal jurisdiction, and the per capita discharge of industrial wastewater had the great influences on the coupling coordination degree. Therefore, a precise development strategy should be formulated according to the main influencing factors to promote the coordinated development of urbanization and the ecological environment.

**Keywords:** urbanization; eco-environment; coupling coordination degree; geo-detectors; Gansu Province

收稿日期:2020-06-23

修回日期:2020-07-08

资助项目:教育部人文社会科学研究项目(18YJCZH044);国家自然科学基金(41401653);国家铁路局项目(KF2019-005-A)

第一作者:韩燕(1984—),女,河南洛阳人,博士,副教授,主要从事区域经济、资源环境经济学研究。E-mail:yingyuhy@163.com

通信作者:张玉婷(1995—),女,甘肃武威人,硕士研究生,主要从事区域经济学研究。E-mail:1451073481@qq.com

城镇化是我国社会经济平稳健康发展的巨大潜力和动力。目前,我国正处于城镇化加速发展时期,城镇化在带来人口集聚、产业结构优化以及经济快速增长等积极效应的同时,不可避免的加重了城市的环境污染和资源浪费,从而引起自然生态系统破坏及生态服务功能下降等负面影响。一定程度上,生态环境也正在成为制约城镇化发展的一大因素。如何协调好城镇化与生态环境的关系、推动区域可持续发展备受关注。

对于城镇化与生态环境两者的协调发展,国内外有大量学者对其进行研究,主要集中在以下几个方面:(1)两者耦合的基础理论及变化规律 西方国家城镇化进程早于我国,且其发展水平较高。1989年,E Howard认为实现城镇化与生态环境的协调发展应从理性规划的角度出发,同时提出“田园城市”理念。Grossman & Krueger, Shafik & Bandyopadhyay 等提出了环境库兹涅茨曲线,认为城市经济发展与生态环境质量呈现倒“U”型演变规律<sup>[1-2]</sup>;国内学者主要就两者相互作用的机理以及两者协调发展路径进行探讨。黄金川、方创琳将物理学中的系统耦合引入两者的研究,对城镇化对数曲线和环境库兹涅茨曲线进行逻辑复合,揭示城镇化与生态环境的耦合规律,归纳两系统相互胁迫影响的阶段<sup>[3-4]</sup>。刘猛海通过提出“耦合魔方(CHNC)”分析框架来解释城镇化与生态环境耦合机理<sup>[5]</sup>。方创琳总结出了城镇化与生态环境耦合的10种关系和交互方式,创建了城镇化与生态环境耦合圈理论,同时构建出45种不同城市发展阶段耦合图谱,其中“S”型曲线耦合图谱所代表的城市类型,其发展模式为最佳耦合状态<sup>[6]</sup>。(2)两者耦合协调发展水平的评价 国内多名学者对我国西南<sup>[7]</sup>、京津冀<sup>[8]</sup>、中原城市群<sup>[9]</sup>、长三角<sup>[10]</sup>、珠三角等<sup>[11]</sup>城市群及长江经济带<sup>[12]</sup>、黄河流域<sup>[13]</sup>、丝绸之路经济带等<sup>[14]</sup>区域与全国多个省的城镇化与生态环境耦合进行实证研究。王少剑等通过定量分析城市化与生态环境的耦合过程与演进趋势,得出京津冀地区协调类型从严重不协调—城市化受阻发展到高级协调—生态环境滞后<sup>[15]</sup>。张引等认为,重庆全市及区县新型城镇化与生态环境均处于高水平耦合,但重庆市各区县新型城镇化质量与生态环境承载力差异明显<sup>[16]</sup>。朱海强等认为丝绸之路经济带核心区城镇化水平高于生态环境质量,其发展协调度趋于上升且空间分异明显,两系统间的耦合模式为磨合、拮抗型,协调度由失调转向协调<sup>[14]</sup>。孙平军认为吉林省城镇化进程中生态资源投入效率明显较低,生态环境各项指标整体水平增长,且呈现出明显的先升后降再升的阶段性特征<sup>[17]</sup>。(3)两者协调发展的路径研究 裴玮认为优化产业结构及空间形态、

加强城市环境及社会建设、节约资源改善体质等是推进城镇化与生态环境协调发展的重要举措<sup>[18]</sup>。田文富等认为构造生态和谐的高水平城镇化城市,要将传统注重经济总量扩张的规划思路,变为以改善人居环境为目标的理念,同时根据主体功能区生态资源不同有针对性地制定政策法规<sup>[19]</sup>。

综上所述,学者对城镇化与生态环境耦合协调关系的理论和实证都进行了比较丰富的研究,并取得一定成果。但从地域来看,现有研究大多基于我国中部、东部、东北部及西南部地区省域及城市群,关于西北部尤其是城镇化进程相对滞后的甘肃省少有研究。从研究层面看,学者们对于两者耦合协调度动态对比多基于时序分析,而对其时空格局演变的研究尤其是驱动因素分析相对不足。故本文选取甘肃省12个地级市为研究对象,基于熵权耦合协调模型,分别从时间、空间两个维度定量分析其2009—2018年城镇化与生态环境协调发展水平演变特征,同时采用地理探测器模型,对耦合协调度的影响因素进行分析。

## 1 研究区概况与数据来源

甘肃省简称“甘”或“陇”,位于我国版图西北方,地处黄河中上游,地域辽阔,但地形呈狭长状,地貌较复杂。其作为我国能源矿产及原材料工业基地,矿产资源及土地资源较丰富,有多条江河干流及支流都流经省境内,流域面积大、水利条件优越。但流域内绝大部分地区为黄土覆盖,植被稀疏,水土流失严重,河流含沙量大。截至2018年末,全省常住人口2 637.26万,其中城镇人口1 257.71万,城镇化率为47.69%。人均生产总值3.1万元,城镇居民人均可支配收入2.9万元,其值均滞后于我国整体平均水平。甘肃省城镇化起步较晚,省内各市经济发展水平差异较大,且城镇人口基数小,城镇化率大幅落后于全国平均水平,存在城镇化结构不均衡、地区差异性明显等问题。近年来,随着我国“一带一路”、“经济丝绸之路”等政策的实施,甘肃省成为黄河经济带及丝绸之路经济带黄金段上的重要节点省份,城镇化水平发展较快,且其城镇化进程与生态环境协调共同发展的重要性愈发凸显。

本文选取甘肃省12个地级市:兰州、嘉峪关、金昌、白银、天水、武威、张掖、平凉、酒泉、庆阳、定西及陇南为研究对象(剔除部分数据缺失的临夏回族自治州及甘南藏族自治州两地),收集整理了2009—2018年10 a间城市城镇化及生态环境相关数据,分析评估了甘肃省城镇化水平和生态环境质量协调发展状况,为调整其生态环境和城镇化协调发展提供参考。

本文所用数据来源于 2009—2018 年甘肃省及各市统计年鉴、包括《甘肃发展年鉴》、《中国城市统计年鉴》及各地环境保护网站。其中极少数缺失的数据,本文通过借鉴前后年份平均计算得来。

## 2 研究方法

### 2.1 指标选取及评价体系构建

城镇化系统与生态环境系统是两个复杂的系统,能够较科学、有针对性地构建其指标评价体系,是探讨甘肃省城镇化与生态环境耦合协调关系的基本前提。在相关研究成果的基础<sup>[17,20-22]</sup>上,根据《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》的新型城镇化评价框架及《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》相关文件<sup>[23]</sup>,结合甘肃省发展现状及定位,

构建了如下指标评价体系(表 1),该指标系统包括城镇化和生态环境两大子系统。城镇化是受多因素影响的复杂过程,主要表现在人口聚集、经济增长、城市空间拓展和社会生活水平提高 4 个方面,参考方创琳、崔木花等的研究,构建的城镇化系统从人口、经济、空间、社会城镇化 4 个方面,用人口城镇化、经济城镇化、基础建设水平、公共服务水平 4 项指标及其 12 项子指标表征甘肃省城镇化水平<sup>[24-25]</sup>。生态环境系统则考虑影响人类生存的水、土地、能源等资源条件以及人类活动影响自然生态环境的排放及治理方面,从生态环境压力、生态环境水平、资源环境保护、资源环境利用 4 个维度进行探讨,构建的 12 项子指标体现了国土空间开发、生态环境基础、资源节约高效使用、自然生态环境治理力度等情况。

表 1 甘肃省城镇化与生态环境耦合协调度评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	指标功效
城镇化 发展水平	人口城镇化	非农业人口占总人口比重	%	+
		二、三产业从业人员比重	%	+
		城镇人口密度	人/km <sup>2</sup>	+
	经济城镇化	人均 GDP	元	+
		人均社会消费品零售总额	万元/人	+
		第三产业占 GDP 比重	%	+
		城市建设用地占市区面积比重	%	+
	基础建设水平	每万人拥有市辖区建成区面积	km <sup>2</sup> /万人	+
		每百人拥有医生数	个/百人	+
		每万人中大学生数	个/万人	+
	公共服务水平	人均拥有移动电话部数	部/人	+
		人均拥有公交车辆数	辆/人	+
		人均工业废水排放量	t/人	—
		人均工业烟(粉)尘排放量	t/人	—
	生态环境压力	人均工业二氧化硫排放量	t/人	—
		建成区绿化覆盖率	%	+
生态环境 承载能力	生态环境水平	人均日生活用水量	m <sup>3</sup> /人	+
		人均耕地面积	hm <sup>2</sup> /人	+
		人均绿地面积	hm <sup>2</sup> /人	+
		城镇生活污水处理率	%	+
	资源环境保护	生活垃圾无害化处理率	%	+
		一般工业固体废物综合利用率	%	+
		人均煤气(人工天然气)供量	m <sup>3</sup> /人	+
	资源环境利用	人均液化石油气供量	t/人	+

### 2.2 研究方法

(1) 熵权法。评价体系中各指标重要性的衡量主要通过为其设定权重来实现,相较于层次分析法、专家评估法等主观赋权法,熵权法赋值能够避免人为因素所导致的偏差,更客观的反映指标的相对重要程度,故采用熵值法为各项指标确定权重。为统一正逆向指标,且方便对甘肃省数据进行纵向时间差异分析及对各城市数据进行横向时空对比,要对数据进行无

量纲化处理,计算公式如下:

正向指标:

$$x_{ij} = (X_{ij} - \min X_{ij}) / (\max X_{ij} - \min X_{ij}) \quad (1)$$

逆向指标:

$$x_{ij} = (\max X_{ij} - X_{ij}) / (\max X_{ij} - \min X_{ij}) \quad (2)$$

式中: $x_{ij}$ 为标准化处理后得到的数据; $X_{ij}$ 为指标原始数据; $\max X_{ij}$ 与 $\min X_{ij}$ 分别为原始数据的两极值。得到经过无量纲化标准化处理的数据后,首先选



取平移幅度  $\omega=1$ ,对  $x_{ij}$  进行坐标平移得:

$$x'_{ij}=x_{ij}+\omega \tag{3}$$

之后通过熵权法计算出其权重,计算公式如下:

$$P_{ij}=x'_{ij}/\sum_{i=1}^n x'_{ij} \tag{4}$$

$$e_{ij}=(-1/\ln n)\sum_{i=1}^n P_{ij}\ln P_{ij} \tag{5}$$

$$w_i=(1-e_{ij})/(n-\sum_{i=1}^n e_{ij}) \tag{6}$$

式中: $P_{ij}$  为第  $i$  个城市第  $j$  指标的比重; $e_{ij}$  为  $j$  指标的信息熵; $w_i$  为该指标的权重。

(2) 耦合度模型。耦合常指两个及两个以上系统的相互作用影响<sup>[26]</sup>,由于各系统中无序参量相互协同作用,使得系统从无序走向有序,构建耦合度模型来衡量这种协同作用如下:

$$C=[U(x)\times E(y)]^{1/2}/|U(x)+E(y)| \tag{7}$$

式中: $C$  为城镇化与生态环境两系统耦合度; $U(x)$ ,  $E(y)$  分别代表城镇化与生态环境系统的综合功效,由前文得到的权重和各项数据计算得出; $n$  和  $m$  为城镇化与生态环境系统指标数,计算公式如下:

$$U(x)=\sum_{i=1}^n w_i x_{ij}, E(y)=\sum_{i=1}^m w_i y_{ij} \tag{8}$$

耦合度  $C\in[0,1]$ ,当  $C=0$  时,两系统间无关,随着  $C$  的增大,两系统彼此促进、协同程度越高,系统从无序向有序发展,借鉴方创琳等相关研究<sup>[3-4]</sup>,将其等级划分见表 2。

表 2 耦合度阶段划分

$C$	0~0.29	0.30~0.49	0.50~0.79	0.80~1.00
级别	分离阶段	拮抗阶段	磨合阶段	耦合阶段

(3) 耦合协调度模型。耦合度映射了城镇化与生态环境两系统相互影响程度,但有时很难精准体现两者间协同发展程度,因此本文引入耦合协调模型对不同子系统间耦合协调发展程度进行测算,计算公式如下:

$$T=\alpha U(x)+\beta E(y) \tag{9}$$

$$D=\sqrt{C\times T} \tag{10}$$

式中: $D$  为耦合协调度; $T$  为两者间综合协调发展指数; $\alpha,\beta$  均为待定系数, $\alpha+\beta=1$ 。本文认为城镇化与生态环境对城市发展同等重要,故此处取值为  $\alpha=\beta=0.5$ 。借鉴相关研究,将城镇化与生态环境耦合协调度划分成 3 个等级(表 3)。

(4) 地理探测器。地理探测器是王劲峰等人提出的一种具有地理特性的数学分析方法,可用来探测空间异质性的驱动力因子<sup>[27]</sup>。运用地理探测器可以直接探测耦合协调度分布特征的驱动力因子大小,因此本文利用地理探测器的因子探测法来研究所选取的各个因子对耦合协调度分布的解释力的大小,其公

式如下。

$$q=1-\frac{\sum_{h=1}^L N_h\sigma_h^2}{N\sigma^2} \tag{11}$$

式中: $q$  为各影响因素对耦合协调度的驱动力探测值; $\sum_{h=1}^L N_h\sigma_h^2$  为所探测要素各子区域的累计方差和; $N\sigma^2$  为整个研究区域的方差; $q$  的取值范围为  $[0,1]$ , $q$  值越大或等于 1 时,表明耦合协调度受影响因素的影响越大或影响因素直接控制了耦合协调度。 $q$  值越小或等于 0 时,表明耦合协调度受影响因素的影响力越小或与影响因素间无任何关系。通过比较因素影响力的大小,可探测出城镇化与生态环境耦合协调度分异的主导因素。

表 3 耦合协调度等级划分

等级	$D$	级别
失调衰退类 (不可接受)	0~0.09	极度失调衰退
	0.10~0.19	严重失调衰退
	0.20~0.29	中度失调衰退
	0.30~0.39	轻度失调衰退
过渡类 (勉强接受)	0.40~0.49	濒临失调协调
	0.50~0.59	勉强耦合协调
	0.60~0.69	初级耦合协调
耦合协调类 (可以接受)	0.70~0.79	中级耦合协调
	0.80~0.89	良好耦合协调
	0.90~1.00	优质耦合协调

3 结果与分析

3.1 城镇化系统与生态环境系统综合水平分析

根据表 1 的甘肃省城镇化与生态环境评价体系指标,通过熵权法赋权,将权重及数据代入公式(8),分别计算得出 2009—2018 年甘肃省 12 个地级市城镇化系统和生态环境系统的综合指数(图 1)。

3.1.1 城镇化水平演变 从城镇化系统综合指数来看,甘肃省及其各地级市城镇化发展水平呈稳步小幅度上升的趋势。首先,甘肃省城镇化综合指数由 2009 年的 0.217 增长至 2017 年的 0.327,表明甘肃省城镇化近年来取得一定进展,人民生活质量不断提高,但其整体水平仍然偏低。2018 年该指标值有所下降,主要由于占权重较大的城市人口密度及人均社会消费品零售总额等指标有所下降。其次,各地级市 2009 年和 2018 年城镇化综合指数均值分别为 0.266,0.355,增长率达到 33%,标准差分别为 0.11,0.13,变异系数分别为 0.43,0.39。这表明伴随经济发展与城镇化进程加快,各市城镇化水平绝对差距逐渐增大,但相对差距逐渐缩小,这也使得城镇化的空

间两极化现象得到缓解。2009 年,除兰州、嘉峪关、金昌为中等城镇化水平地区外,其余所有地级市均为低城镇化水平地区,整体城镇化水平偏低。2018 年,兰州、嘉峪关在原有基础上成为较高城镇化水平地

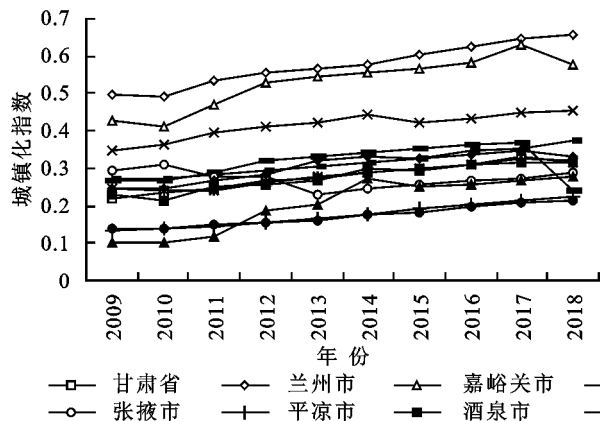
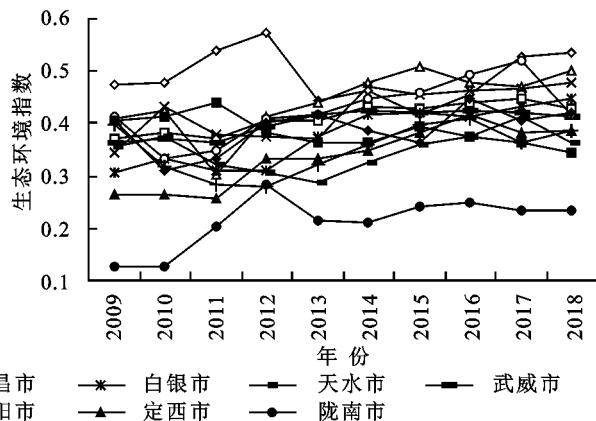


图 1 2009—2018 年甘肃省各市城镇化指数与生态环境指数

区,此外,天水、庆阳也跻身中等城镇化水平城市。原有的低水平城镇化城市 10 a 间其城市城镇化水平均大幅增长,其中定西甚至达到 181%,但由于其初始水平低,虽较其自身增幅显著,但整体水平仍较低。



3.1.2 生态环境水平演变 从生态环境综合指数来看,首先甘肃省整体生态环境质量除在 2011 年有一次波动外,10 a 间不断向好,表明甘肃省整体近年来生态环境保护意识增强,生态环境质量得到较大改善。尤其是 2011—2014 年,其值上升趋势较大,主要得益于人均公园绿地面积、建成区绿化覆盖率大幅提高,同时大力加强环境资源保护,各类生活垃圾、工业废料无害化处理率上升。近 5 a 来上升较为平缓,在保持之前环境治理成果的同时,生态环境质量仍然稳步提高。各地级市 2009 年和 2018 年生态环境综合指数均值分别为 0.356, 0.410, 增长率达到 15%, 标准差分别为 0.091, 0.079, 变异系数分别为 0.255, 0.193。这表明伴随城镇化进程加快,各市生态环境水平绝对差距与相对差距都在逐渐缩小,这也使得生态环境的空间两极化现象得到缓解。2010 年,除陇南处于低生态环境水平外,其余城市均处于中等生态环境水平。陇南市排名最后主要归咎于其较低的建成区绿化覆盖率,同时城镇生活污水处理、生活垃圾无害化处理以及一般工业固体废物综合利用率水平均不高,这也导致 2018 年时,其生态环境仍处于低水平阶段。10 a 间,省会城市兰州生态环境发展来回波动数次后,稳定在较高生态环境水平。其余各市生态环境水平虽未突破等级,但均有一定幅度增长,各市生态环境保护意识逐年提升,资源环境保护能力不断增强,生态环境水平稳步向好。

### 3.2 城镇化与生态环境耦合度时空格局分析

根据耦合度模型,将数据带入公式(7)计算得出 2009—2018 年甘肃省城镇化与生态环境的耦合度。同时,参考耦合类型划分标准(表 2),将城镇化与生态环境耦合度划分为 4 个等级,通过 ArcGIS 软件将

不同时间段耦合度的空间分布可视化(图 2)。

从整体看,10 a 间甘肃省城镇化与生态环境耦合度呈现“S”型上升曲线,经历先增长后下降的过程。2009—2013 年,其值呈小幅度增长,2013 年起,随着甘肃省城镇化进程加快,其耦合度增长速率加快,2016 年达到顶峰后,其值略有下降。甘肃省城镇化与生态环境耦合度 10 a 间均处于拮抗阶段,即生态环境破坏程度较小,承载城镇化发展的能力逐步减弱,两者处于对抗状态,并逐步向磨合的方向发展。分地区看,各地区耦合度在 2009—2018 年整体处于上升趋势。2009 年,定西、陇南两市因资源利用粗放导致耦合度较低,均处于分离阶段,其余各市处于拮抗阶段,此时城镇化和生态环境严重失衡。生态环境限制了城镇化的进程,阻碍其可持续发展。2018 年时,兰州、嘉峪关两市进入磨合阶段,定西、陇南两市由分离阶段发展至拮抗阶段,其余各市虽耦合度均有小幅度提升,但仍处于拮抗阶段。虽然甘肃省地貌多样,生态资源较丰富,具有一定优势。但是,其城镇化发展过程中利用生态环境资源较粗放,不注重生态环境的保护以及其承载能力,在城镇化进程中对生态环境施加过多压力,故而处于拮抗阶段。

### 3.3 城镇化与生态环境耦合协调度时空格局分析

2009—2018 年,甘肃省城镇化与生态环境耦合协调度整体呈现极缓慢上升的趋势,水平处在 0.33~0.41。2009—2015 年,处于轻度失调发展阶段;2015—2017 年,处于濒临失调发展阶段;2018 年耦合协调程度轻微回落,又回到轻度失调阶段。虽然甘肃省部分城市城镇化与生态环境的耦合协调度勉强达到协调状态,但其总体耦合协调度仍处在轻度失调状态,不过近十年来其一直保持小幅上升趋势(图 3)。

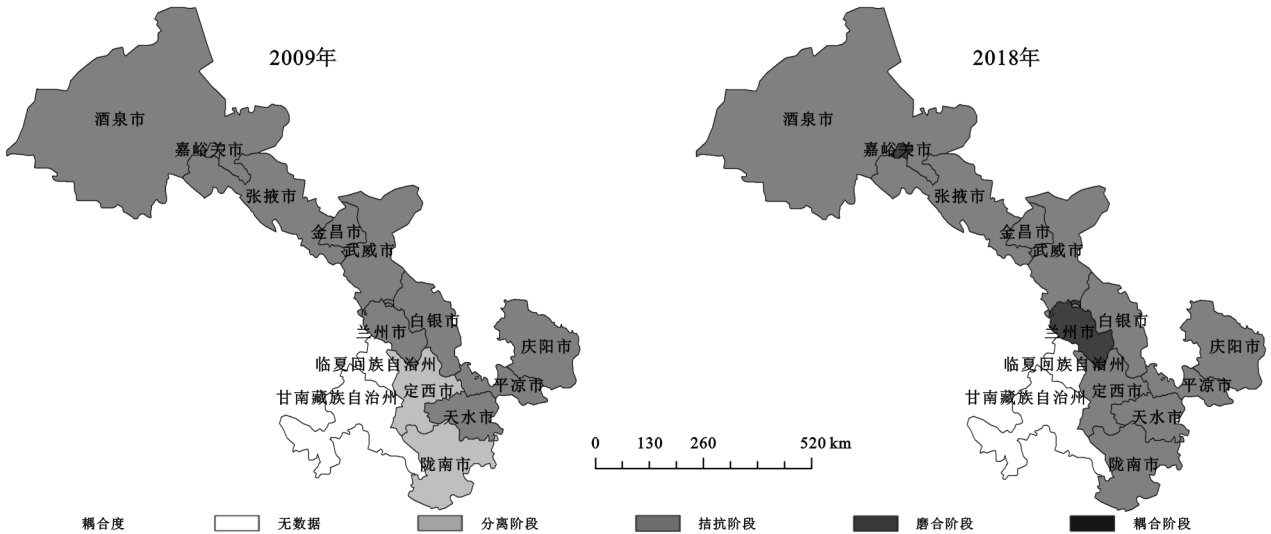


图 2 2009 年、2018 年甘肃省城镇化与生态环境耦合度时空格局

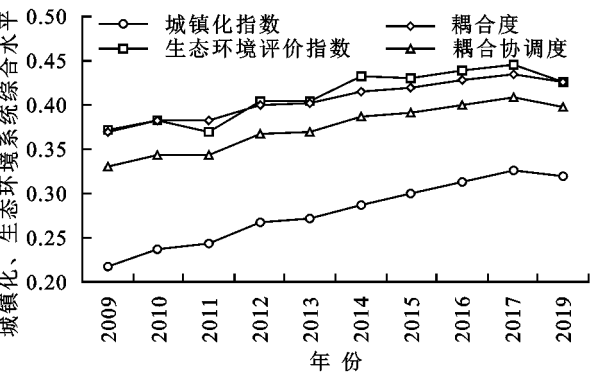


图 3 2009—2018 年甘肃省城镇化、生态环境、耦合度、耦合协调度指数

参考耦合协调类型划分标准(表 3),对城镇化与生态环境耦合协调度等级进行划分,通过 ArcGIS 软件将不同时间段各市耦合协调度可视化(图 4)。2009 年,陇南处于城镇化和生态环境严重失调发展阶段,同时属于

生态环境滞后型。陇南生态系统综合指数低,生态资源利用及环境污染治理不理想,导致一定程度阻碍其城镇化发展。定西与平凉处于中度失调发展阶段,兰州与嘉峪关处于濒临失调阶段,其余各市均处于轻度失调阶段。2011 年兰州进入勉强协调阶段,2014 年嘉峪关也步入勉强协调阶段,两市稳定保持在此阶段且耦合协调度持续上升。2018 年,金昌与庆阳由轻度失调发展为濒临失调阶段,其余各市仍保持轻度失调阶段。总体而言,甘肃省省会城市兰州城镇化与生态环境的耦合协调水平相对较高,且部分资源型城市以及化工业城市,产业结构相对多样、替代产业丰富、产业转型升级能力较强,城镇化进程中能够较为高效地利用生态环境资源,从而耦合协调度也相对较高。其余农业城市,由于人口城镇化及经济城镇化相对落后,且生态资源开发利用方式较为粗放低效,导致其耦合协调度相对较低。

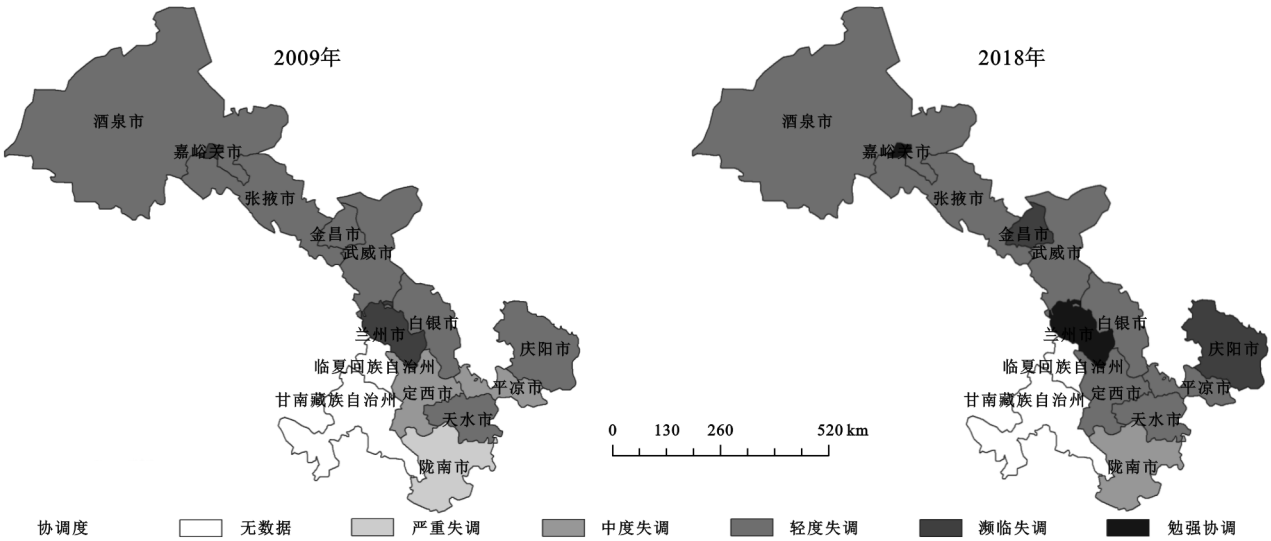


图 4 2009 年、2018 年甘肃省城镇化与生态环境耦合协调度时空格局

### 3.4 城镇化与生态环境耦合协调度影响因子分析

利用 ArcGIS 软件将各地级市城镇化及生态环

境子系统的各项指标数据采用自然段点法分类排序后,利用地理探测器对甘肃省城镇化与生态环境耦合



协调度演变的驱动因素进行分析。其中  $Y$  为两系统耦合协调度,  $X_1-X_{12}$  分别代表城镇化系统中的 12 个三级指标(非农业人口占比、二、三产业从业人员比重、城镇人口密度、人均 GDP、人均社会消费品零售总额、第三产业 GDP 占比、城建用地占市区面积比重、每万人拥有市辖区建成区面积、每万人拥有医生数、每万人中大学生数、人均拥有移动电话数、人均拥有公交车辆数),  $X_{13}-X_{24}$  则为生态环境系统中的 12 个三级指标(人均工业废水排放量、人均工业烟(粉)尘排放量、人均工业  $SO_2$  排放量、建成区绿化覆盖率、人均水资源总量、人均耕地面积、人均绿地面积、城镇生活污水处理率、生活垃圾无害化处理率、一般工业固体废物综合利用率、人均煤气(人工天然气)供量、人均液化石油气供量指标)。

对于耦合协调度时空分布影响因素选取 2009 年、2018 年 2 个时间节点进行分析,结果见表 4。总体来看,10 a 间各影响因子对耦合协调度空间分布的决定力变化幅度较大。其中,人均社会消费品零售总额、人均耕

地面积、人均拥有市辖区建成区面积与人均拥有公交车辆数等指标对耦合协调度空间分布的解释力较大;第三产业占 GDP 比重、建成区绿化覆盖率等指标对其空间分布的解释力度较小。2009 年人均拥有公交车辆数、人均日生活用水量、人均社会消费品零售总额、非农业人口占总人口比重等指标是影响耦合协调度空间分布的主导因子,10 a 来随着城镇化进程加快以及生态环境资源高效利用,甘肃省非农人口快速增长,人民生活用水情况好转,人民物质文化生活水平大幅提高,社会商品购买力增强,与之相关的指标对耦合协调度的决定力逐年下降。伴随甘肃省整体耦合协调度等级的提升,决定其是否能协调可持续发展的重心已经从基础城镇化及生态环境治理转向城镇化中、高级阶段及生态环境绿色治理。2018 年主导因子成为二、三产业从业人员比重、人均工业废水排放量、市辖区人均医生个数、人拥有市辖区建成区面积等指标,其余大多数指标的决定力  $q$  值均有不同幅度上升,对甘肃省城镇化与生态环境耦合协调度影响程度进一步加深。

表 4 2009 年、2018 年耦合协调度驱动因素因子探测结果

参数	城镇化系统	2009 年	2018 年	参数	生态环境系统	2009 年	2018 年
$X_1$	非农人口占总人口比重	0.829	0.618	$X_{13}$	人均工业废水排放量	0.451	0.925
$X_2$	二、三产业从业人员比重	0.788	0.926	$X_{14}$	人均工业烟(粉)尘排放量	0.580	0.628
$X_3$	城市人口密度	0.550	0.605	$X_{15}$	人均工业二氧化硫排放量	0.308	0.671
$X_4$	城建用地占市区面积比	0.756	0.767	$X_{16}$	建成区绿化覆盖率	0.398	0.422
$X_5$	人拥有建成区面	0.801	0.881	$X_{17}$	人均日生活用水量	0.925	0.340
$X_6$	人均 GDP	0.795	0.638	$X_{18}$	人均耕地面积	0.816	0.871
$X_7$	人均社会消费品零售总额	0.901	0.837	$X_{19}$	人均绿地面积	0.519	0.613
$X_8$	第三产业占 GDP 比重	0.257	0.315	$X_{20}$	城镇生活污水处理率	0.561	0.444
$X_9$	市辖区千人拥有医生数	0.793	0.913	$X_{21}$	生活垃圾无害化处理率	0.483	0.634
$X_{10}$	市辖区每百人大学生数	0.810	0.753	$X_{22}$	一般工业固体废物综合利用率	0.798	0.471
$X_{11}$	人均拥有移动电话部数	0.608	0.850	$X_{23}$	人均煤气供气量(人工天然气)	0.521	0.754
$X_{12}$	人均拥有公交车辆数	0.942	0.836	$X_{24}$	人均液化石油气供气量	0.716	0.365

4 讨论与结论

(1) 2009—2018 年,甘肃省城镇化系统综合指数稳定增长,生态环境系统综合指数波动较大,但总体呈增长趋势,相对发展水平以城镇化滞后为主。空间分布上,两系统高值区均为省会城市及工业城市,低值区集中于东部传统农业城市。甘肃省城镇化发展起步晚水平低,城镇化和生态文明建设发展不充分、不平衡。10 a 间,甘肃省两系统的耦合度从拮抗阶段进入磨合阶段。虽然整体呈现稳步上升状态,但其耦合程度仍然较低,生态环境资源低效利用限制了城镇化的发展。

(2) 2009—2018 年,甘肃省城镇化与生态环境耦合协调度呈现“S”型曲线变化,在波动中上升,协调类型从严重失调(不可接受)发展到濒临失调(勉强

接受)阶段,表明两系统向着良性有序方向发展。空间上看,不同地级市耦合协调发展水平差异显著,从濒临失调阶段到中度失调阶段均有分布,空间集聚特征不明显。高值区主要位于省会城市及产业动力充足的工业城市,低值区主要分布在经济发展较落后、生态环境质量差的农业城市。

(3) 2009—2018 年,驱动甘肃省城镇化与生态环境耦合协调度发展的主导因素变化较大。地理探测器探测结果表明,人均社会消费品零售总额、人均耕地面积、人拥有市辖区建成区面积、二、三产业从业人员比重、人均工业废水排放量等指标对耦合协调度驱动力较大。10 a 间城镇化与生态环境两系统大多数因子对耦合协调度驱动力呈现出不断增长的趋势,在甘肃省城镇化与生态环境发展过程中应重点关注

这些影响因子,不断提升甘肃省城镇化发展的质量,绿色高效地进行资源环境的治理,从而提出适合甘肃省城镇化与生态环境协同发展的对策和建议。

当前,有关城镇化与生态环境协同发展关系既决定城镇化发展质量优劣,又成为区域是否可持续发展的关键。从本文分析研究来看,甘肃省整体城镇化滞后,且省内各市经济发展方式及自然环境资源分布差异较大。甘肃省应根据不同地区的不同特点,有针对性地制定发展策略。首先,通过合理拓展城镇人口及土地空间范围、优化产业结构、推动产城融合,实现城镇化“高水平、高质量”发展。同时做好生态文明建设,充分发挥生态环境对城镇化发展带来的特殊效益。生态环境水平较高的地区,应充分发挥自然禀赋优势,合理开发利用生态资源,依托旅游、文化等产业,建立持续发展的长效机制。生态环境水平较低的地区,应首先调整发展方式,转变资源利用观念,加强环境问题及生活垃圾的治理,在实现生态资源利用效率提升的同时,保护好绿水青山。其次,城镇化与生态环境协调度高的地区,近年来发展快速,但向周边城市的辐射能力并不强,应加强甘肃省各地方政府间深度合作,城镇化与生态环境耦合协调度高的城市应与城镇化与生态环境耦合协调度低的城市分享经验,在甘肃省“一体两翼”发展战略的带领下,使耦合协调度高的城市辐射带动周边城市,促进甘肃省整体城镇化进程、生态环境水平以及两者协同发展水平的提升,逐步缩小各地区间发展差异。再者,在资源环境承载力基础上,稳步推动城镇化发展进程的同时,应重点关注驱动两者协调发展的主导因素,因地制宜因势利导,有方向有目的地制定城镇化系统及生态环境系统发展策略,从而提出适合甘肃省城镇化与生态环境协同发展的对策和建议。

#### 参考文献:

- [1] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American free trade agreement[R]. National Bureau of Economic Research, 1991.
- [2] Shafik N, Bandyopadhyay S. Economic growth and environmental quality: Time-series and cross-country evidence[R]. World Bank Publications, 1992.
- [3] 黄金川,方创琳.城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J].地理研究,2003,22(2):211-220.
- [4] 方创琳,杨玉梅.城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J].干旱区地理,2006,29(1):1-8.
- [5] 刘海猛,方创琳,李咏红.城镇化与生态环境“耦合魔方”的基本概念及框架[J].地理学报,2019,74(8):1489-1507.
- [6] 方创琳,崔学刚,梁龙武.城镇化与生态环境耦合圈理论及耦合器调控[J].地理学报,2019,74(12):2529-2546.
- [7] 陈菁.基于图谱分析的福建省生态环境与城市化耦合关系研究[J].水土保持研究,2010,17(6):163-168.
- [8] 马海涛,卢硕,张文忠.京津冀城市群城镇化与创新的耦合过程与机理[J].地理研究,2020,39(2):303-318.
- [9] 崔木花.中原城市群9市城镇化与生态环境耦合协调关系[J].经济地理,2015,35(7):72-78.
- [10] 陈肖飞,郭建峰,姚士谋.长三角城市群新型城镇化与生态环境承载力耦合协调研究:基于利奥波德的大地伦理观思想[J].长江流域资源与环境,2018,27(4):715-724.
- [11] 刘艳艳,王少剑.珠三角地区城市化与生态环境的交互胁迫关系及耦合协调度[J].人文地理,2015,30(3):64-71.
- [12] 王宾,于法稳.长江经济带城镇化与生态环境的耦合协调及时空格局研究[J].华东经济管理,2019,33(3):58-63.
- [13] 赵建吉,刘岩,朱亚坤,等.黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J].资源科学,2020,42(1):159-171.
- [14] 朱海强,贡璐,赵晶晶,等.丝绸之路经济带核心区城镇化与生态环境耦合关系研究进展[J].生态学报,2019,39(14):5149-5156.
- [15] 王少剑,方创琳,王洋.京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J].生态学报,2015,35(7):2244-2254.
- [16] 张引,杨庆媛,闵婕.重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J].地理学报,2016,71(5):817-828.
- [17] 孙平军,修春亮,张天娇.畸变视角的吉林省城市化与生态环境的耦合关系判别[J].应用生态学报,2014,25(3):875-882.
- [18] 裴玮,邓玲.新型城镇化与生态文明建设协同推进的机理与实现路径[J].西北民族大学学报:哲学社会科学版,2017(1):106-113.
- [19] 田文富.新型城镇化与生态文明建设的互动机理及保障机制研究[J].中州学刊,2015(3):90-93.
- [20] 李江苏,王晓蕊,苗长虹.基于两种DEA模型的资源型城市发展效率评价比较[J].经济地理,2017,37(4):99-106.
- [21] 游细斌,杨青生,付远方.区域交通系统与城镇系统耦合发展研究:以潮州市域为例[J].经济地理,2017,37(12):96-102.
- [22] 鲍超.中国城镇化与经济增长及用水变化的时空耦合关系[J].地理学报,2014,69(12):1799-1809.
- [23] 李克强.协调推进城镇化是实现现代化的重大战略选择[J].行政管理改革,2012,11(4):4-11.
- [24] 史戈.中国海岸带地区城市化与生态环境关联耦合度测度:以大连等8个沿海城市为例[J].城市问题,2018(10):20-26,52.
- [25] 刘春雨,刘英英,丁饶干.福建省新型城镇化与生态环境的耦合分析[J].应用生态学报,2018,29(9):3043-3050.
- [26] 马丽,金凤君,刘毅.中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J].地理学报,2012,67(10):1299-1307.
- [27] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.