

齐亚霄,张 飞. 丝绸之路经济带核心区城市化水平与生态环境耦合协调关系综合测度[J]. 江苏农业科学,2020,48(9):321-326.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.09.060

# 丝绸之路经济带核心区城市化水平与生态环境耦合协调关系综合测度

齐亚霄<sup>1,2</sup>, 张 飞<sup>1,2,3</sup>

(1. 新疆大学资源与环境科学学院智慧城市与环境建模普通高校重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046; 3. 中亚地理信息开发利用国家测绘地理信息局工程技术研究中心,新疆乌鲁木齐 830002)

**摘要:**利用熵值法建立丝绸之路经济带核心区——新疆维吾尔自治区城市化和生态环境之间的耦合协调模型,并针对2个子系统建立相应的评价体系进行测度和分析。结果表明,2007—2016年新疆城市化水平上升速度较快,在此期间人口、经济、社会和土地城市化共同推动新疆城市化进程;而生态环境子系统表现出先降后升的“V”字形发展趋势。从2007—2016年2个子系统耦合度的时序特征来看,新疆城市化-环境系统耦合度处于0.240~0.500之间,经历了低水平耦合、拮抗并即将达到磨合阶段,基本处于中低水平。新疆城市化与生态环境在2007—2016年的耦合协调度经历了低强度低耦合阶段、中强度低协调阶段和中强度中协调阶段,基本处于中低水平,但也在逐渐提高,说明随着新疆城市化水平的逐渐提高,人地关系也在逐步协调。

**关键词:**丝绸之路经济带核心区;熵值法;城市化;生态环境;耦合;协调;时序特征;人地关系

**中图分类号:** F299.27    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2020)09-0321-06

城市化别称城镇化,是一个包括社会、经济、人口等多方面的复杂过程。在此过程中,不仅包括人口的大规模迁移,还伴随着土地利用方式的变化、生产及生活方式的转化<sup>[1-3]</sup>。改革开放以来,我国的城市化进程加速推进,城市化水平自1980年的19.39%增长到2013年的53.73%<sup>[4]</sup>,并形成了许多城市群。快速城市化会造成资源的大量消耗及区域生态环境、气候的改变。在新的历史条件下,新型城镇化的推进是国家全面建成小康社会和基本实现现代化的必由之路<sup>[5]</sup>。如何在城镇化过程中实现人与自然和谐共生,是当今地理学界研究的热点。作为地理研究的核心问题之一,城市化与生态环境的交互耦合关系已经成为国内外研究的热点<sup>[6-7]</sup>,国内外学者对于二者之间的交互作用、耦合协调测度等作了大量研究,聂艳等对湖北省城市化与生态环境耦合的时空特征进行度量,并分析其时

空变异特征<sup>[8]</sup>;陆媛媛等以宁夏回族自治区5个地级市为研究对象,分析其城市化与生态环境的耦合协调度关系及发展趋势<sup>[9]</sup>;Liu等在环境库兹涅茨曲线理论基础上,对山东省济南市城市化和大气环境安全的耦合协调关系进行估计分析<sup>[4]</sup>;Yu等对松花江流域进行研究,有助于更好地理解跨界河流域污染物排放与城市化进程的耦合关系,并对社会经济与水环境二者的关系进行定量分析,从而更好地揭示城市化进程与流域污染物排放的耦合关系<sup>[10]</sup>。西北干旱区是我国生态环境较脆弱的地区,本研究选择其典型代表区域——丝绸之路核心区新疆维吾尔自治区(简称“新疆”)作为研究区。城市化进程与其生态环境存在互动耦合关系,经济社会的发展促进城市化水平的提高,但也会加重生态负担;随着城市化水平的提高,生态环境保护及资源合理利用逐步得到重视,城市生态环境逐步改善。本研究对新疆城市化与生态环境的耦合协调关系进行测度并探讨其成因,以期为变化环境下丝绸之路核心区的可持续发展提供一定的理论依据,并充分发挥新疆在丝绸之路经济带中的重要作用。

## 1 研究区概况

新疆地处中国西北,位于亚欧大陆腹地,地理

收稿日期:2019-05-28

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(编号:XDA20040400);

新疆维吾尔自治区天山英才项目(编号:400070010209)。

作者简介:齐亚霄(1994—),女,河北邢台人,硕士研究生,主要从事干旱区资源环境研究。E-mail:qiyaxiao3s@163.com。

通信作者:张 飞,博士,主要从事干旱区生态环境遥感应用研究。

E-mail:zhangfei3s@163.com。

位置约为  $34^{\circ}15' \sim 49^{\circ}10'45''N, 73^{\circ}20'41'' \sim 96^{\circ}25'E$ , 新疆是我国陆地面积最大的省级行政区, 总面积约  $160 \text{ km}^2$ , 约占我国陆地面积的  $1/6^{[11]}$ 。新疆地势起伏较大, 海拔在  $-158 \sim 7\,390 \text{ m}$ , 平均海拔约为  $1\,000 \text{ m}$ , 总体地势大致呈现出“南高北低、西高东低”的态势<sup>[12]</sup>。新疆地形复杂, 地貌单元众多, 山脉和盆地相间, 从北到南分布着阿尔泰山、准噶尔盆地、天山、塔里木盆地、昆仑山和喀喇昆仑山。新疆由于深居内陆, 较少受海洋影响, 气候类型属于典型的温带大陆性气候, 夏季日照时间长, 热量丰富, 气温日较差、年较差均较大, 降水量少, 气候干燥, 由于面积大, 地形复杂, 各地气候差异显著。新疆生态环境较脆弱, 地广人稀, 人口多分布在绿洲。

## 2 指标体系与研究方法

### 2.1 指标体系构建

本研究原始数据主要来自《新疆统计年鉴》, 部分数据通过计算得到。根据数据的可获得性, 借鉴已有的综合测度指标体系成果<sup>[13-15]</sup>, 遵循系统性、完整性等原则, 把所得数据分为城市化、生态环境 2 个子系统, 并根据数据特点在子系统中设置相应指标对其进行评价。

根据城市化概念的内涵, 把城市化(U)系统相关指标归纳为人口城市化指标( $U_1$ )、经济城市化指标( $U_2$ )、社会城市化指标( $U_3$ )、土地城市化指标( $U_4$ )共 4 个层级 16 个指标; 生态环境子系统主要是从水、气、固废及保护区层面对新疆近 10 年间的生态环境进行综合评价, 把生态环境(E)子系统归纳为水环境指标( $E_1$ )、大气环境指标( $E_2$ )、固体废物指标( $E_3$ )、自然保护区环境指标( $E_4$ )共 4 个层级 9 个指标。

### 2.2 研究方法

2.2.1 熵值法 “熵”最早是自然科学中的热力学概念, 主要反映系统的混乱程度。近年来已被引入社会经济研究领域, 含义上主要是指系统状态不确定性程度的度量。与传统的主观赋权法相比, 利用熵值法确定权重可以减小确定权重的人为主观因素<sup>[16]</sup>。利用熵值法进行数据计算之前, 为了消除指标的量纲差异, 首先对初始数据进行标准化处理。对于数值越大对系统发展越有利时的指标采用正向指标计算方法,  $X'_{ij} = (X_{ij} - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j)$ ; 反之则采用负向指标计算方法处理,  $X'_{ij} = (\max X_j - X_{ij}) / (\max X_j - \min X_j)$ 。熵值法计算步骤

如下: (1) 计算  $i$  年份第  $j$  项指标比重  $Y_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^m X_{ij}$ ; (2) 计算指标信息熵  $e_j = -k \sum_{i=1}^m (U_{ij} \times \ln Y_{ij})$ , 令  $k = 1 / \ln m$ , 则  $0 \leq e_j \leq 1$ ; (3) 计算信息的冗余度  $d_j = 1 - e_j$ ; (4) 计算指标权重  $w_i = d_j / \sum_{j=1}^n d_j$ ; (5) 单指标评价得分  $S_{ij} = w_i \times X_{ij}$ ; (6) 第  $i$  个年份的综合水平得分  $S_{ij} = \sum_{j=1}^n S_{ij} \circ$

式中:  $X_{ij}$  表示第  $i$  个年份的综合水平得分;  $\min X_j$ 、 $\max X_j$  分别表示  $j$  指标的最大值和最小值;  $m$  表示年份;  $n$  表示指标数量。根据熵值法的计算步骤, 分别对选取的 160 个城市化原始数据和 100 个生态环境原始数据进行处理, 并计算出各指标的权重(表 1、表 2)。

耦合是指 2 个及以上的体系或运动形式通过各种相互作用而彼此影响的现象, 而耦合度是对体系之间相互影响现象的度量<sup>[17]</sup>, 已被广泛应用于城市化与生态环境的相互作用研究<sup>[18-21]</sup>。子系统耦合度较高时, 子系统之间的配合度高, 系统运行效率高, 系统具有旺盛的生命力; 反之, 如果子系统耦合度较低, 说明子系统之间彼此制约, 系统就有可能停滞<sup>[18]</sup>。城市化与生态环境是相互作用、相互制约的 2 个系统, 借助物理学中的耦合协调度模型, 对 2 个子系统进行耦合协调度分析。耦合度模型公式如下:

$$C = 2[(U_1 \times U_2) / (U_1 + U_2)^2]^{1/2}。$$

式中:  $C$  表示耦合系统的耦合度, 介于  $0 \sim 1$  之间,  $C$  值越大, 说明城市化与生态环境的良性互动耦合越好, 相互作用越强, 反之则二者的互动耦合较差, 相互作用较弱。参考吴玉鸣等的研究方法等<sup>[19]</sup>, 将城市化和生态环境耦合协调分为 6 个演变阶段(表 3)。

耦合度并不是一直向更高阶段发展的, 它是一个受多种因素影响从而有所反复的过程。在耦合度模型基础上引入协调度模型, 以便对城市化水平、环境交互耦合的协调程度进行更好的测度, 其计算公式如下:

$$\begin{cases} D = \sqrt{C \times T} \\ T = \sqrt{aU_1 \times bU_2} \circ \end{cases}$$

式中:  $D$  表示协调度;  $C$  表示耦合度;  $T$  表示城市化与环境的综合协调指数;  $a$ 、 $b$  表示待定系数。

本研究基于城市化与生态环境是同等重要的 2

表 1 新疆城市化水平综合测度指标体系

系统层	子系统层	指标层	权重
U 城市化水平综合测度	U <sub>1</sub> 人口城市化	U <sub>11</sub> 城镇人口数量(万人)	0.072
		U <sub>12</sub> 城镇人口比重	0.076
		U <sub>13</sub> 二三产业就业人口数量(万人)	0.097
		U <sub>14</sub> 城市人口密度(人/km <sup>2</sup> )	0.033
	U <sub>2</sub> 经济城市化	U <sub>21</sub> 人均 GDP(元)	0.068
		U <sub>22</sub> 二三产业产值比重	0.029
		U <sub>23</sub> 第三产业产值比重	0.076
		U <sub>24</sub> 二三产业 GDP 密度(万元/km <sup>2</sup> )	0.079
	U <sub>3</sub> 社会城市化	U <sub>31</sub> 年均用电量(度/人)	0.064
		U <sub>32</sub> 在校大学生数量(人/万人)	0.051
		U <sub>33</sub> 拥有医生数量(人/万人)	0.084
		U <sub>34</sub> 拥有床位数量(张/万人)	0.061
	U <sub>4</sub> 土地城市化	U <sub>41</sub> 建成区面积(km <sup>2</sup> )	0.050
		U <sub>42</sub> 城市人均建成区面积(m <sup>2</sup> /人)	0.044
		U <sub>43</sub> 建成区绿化覆盖率(%)	0.033
		U <sub>44</sub> 城市每 1 万人拥有的道路长度(km)	0.080

表 2 新疆生态环境综合测度指标体系

系统层	子系统层	指标层	权重
E 生态环境系统测度	E <sub>1</sub> 水环境	E <sub>11</sub> 工业废水排放总量(亿 t)	0.123
		E <sub>12</sub> 铵态氮排放量(万 t)	0.181
	E <sub>2</sub> 大气环境	E <sub>13</sub> 工业废水排放量(亿 m <sup>3</sup> )	0.087
		E <sub>21</sub> 二氧化硫排放量(万 t)	0.119
		E <sub>22</sub> 烟尘排放量(万 t)	0.082
	E <sub>3</sub> 固体废物	E <sub>31</sub> 一般工业固体废物产生量(万 t)	0.089
		E <sub>32</sub> 工业固体废物综合利用率(%)	0.071
	E <sub>4</sub> 自然保护区环境	E <sub>41</sub> 自然保护区面积(万 hm <sup>2</sup> )	0.128
		E <sub>42</sub> 自然保护区面积占辖区面积的比重(%)	0.121

表 3 耦合度类别划分标准

取值范围	耦合度阶段
0 < C ≤ 0.3	低水平耦合阶段
0.3 < C ≤ 0.5	拮抗阶段
0.5 < C ≤ 0.8	磨合阶段
0.8 < C ≤ 1.0	高水平耦合阶段

个系统,取  $a = b = 0.5$ 。协调度划分为 4 个阶段: $D \in (0, 0.4]$  为低度协调耦合; $D \in (0.4, 0.5]$  为中度协调耦合; $D \in (0.5, 0.8]$  为高度协调耦合; $D \in (0.8, 1]$  为极度协调耦合。

### 3 结果与分析

#### 3.1 新疆城市化与生态环境变化分析

由表 4 可知,新疆城市化子系统得分从 2007 年的 0.063 增长到 2016 年的 1.040,说明 10 年间新疆

城市化水平显著上升,其城市化水平得到了很大提高。城市化是人口、经济、社会和土地综合作用的过程,对城市化的各项指标进行打分,发现人口城市化和城市化的中增长最平稳;而经济城市化得分经历了 2007—2009 年平稳增长,2010 年下降,此后基本上升的态势;土地城市化的得分分为 3 个阶段:2007—2013 年呈增长趋势,2014 年略有下降,2015—2016 年再次呈增长态势,土地城市化得分虽然总体略低于其他 3 个指标,但其也是城市化的主要推动力之一(图 1)。

由图 2 可知,2007—2016 年生态环境子系统表现出截然不同的发展态势,呈“V”字形。2007—2013 年生态环境子系统测度值呈阶梯下滑趋势,2010—2011、2012—2013 年生态环境的分值出现 2 个下滑的“陡坡”,说明在此期间城市化过程给生态

表4 新疆城市化与环境耦合度与耦合协调度值

年份	得分		耦合度	协调度	耦合强度与协调强度	耦合阶段
	城市化	生态环境				
2007	0.063	0.898	0.240	0.166	低强度低协调	低水平耦合
2008	0.147	0.746	0.370	0.247	中强度低协调	拮抗阶段
2009	0.228	0.718	0.427	0.293	中强度低协调	拮抗阶段
2010	0.294	0.688	0.455	0.317	中强度低协调	拮抗阶段
2011	0.402	0.337	0.498	0.304	中强度低协调	拮抗阶段
2012	0.487	0.292	0.481	0.305	中强度低协调	拮抗阶段
2013	0.629	0.085	0.320	0.194	中强度低协调	拮抗阶段
2014	0.683	0.087	0.317	0.196	中强度低协调	拮抗阶段
2015	0.838	0.333	0.458	0.342	中强度低协调	拮抗阶段
2016	1.040	0.895	0.500	0.482	中强度中协调	拮抗阶段

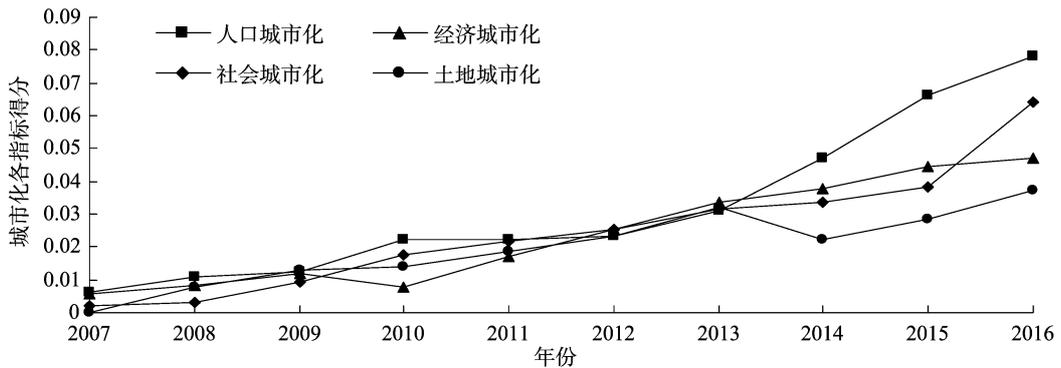


图1 不同年份新疆城市化各指标得分

环境带来了相应压力,人地关系不协调;2013、2014年是生态环境系统得分最低的2个年份,通过对比原始数据发现,2013年是10年间工业废水排放总量和一般工业固体废物产生量最大的年份,而2014年则是工业废气排放量、二氧化硫排放量、烟尘排放量最大的年份;2015年以来由于“三废”排放量的

减少,生态环境得到好转,子系统得分明显提高;2016年是10年间工业废水排放总量、铵态氮排放量及二氧化硫排放量最低的年份,这可能与产业结构调整、生产设备升级有关,说明在城市化过程中更加注重可持续发展和生态恢复,人地关系逐渐实现协调发展。

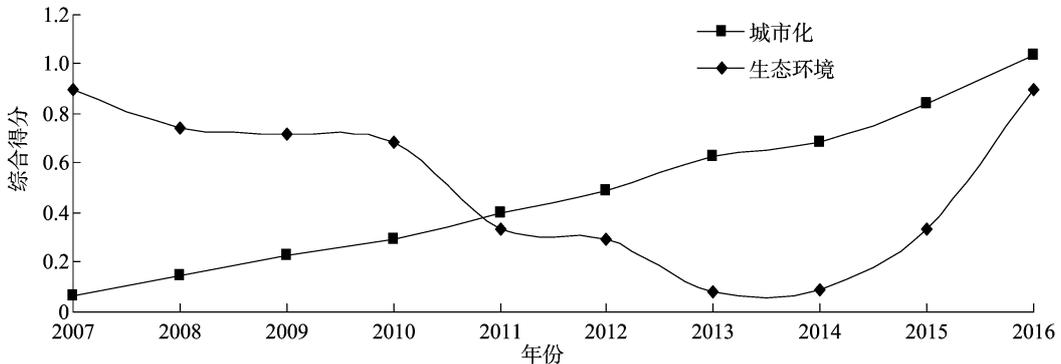


图2 新疆城市化水平与生态环境变化趋势

### 3.2 城市化水平与生态环境耦合协调度分析

由表4、图3可知,2007—2016年2个子系统的耦合度值在0.240~0.500之间,实现了低水平耦合、拮抗发展,并达到拮抗与磨合阶段的临界值,跨

越经历了波浪式上升的过程。2007—2011年耦合度呈上升趋势,2012—2014年开始呈下降趋势,2014年城市化与环境系统的耦合度取得10年间仅次于2007年的最低值;2014年以后协调度继续保

持上升态势,并在2016年达到最大值。10年间在新疆城市化水平逐渐升高的过程中,生态环境一开始作出了消极的响应,在低水平的耦合度状况下,耦合度还在不断减小;在2014年“触底”之后出现了强势“反弹”,而后逐年上升,并在2016年达到峰值。这可能与三产结构改善、污染较严重的企业改进生产设备、环保工作更加到位有关。总体而言,新疆城市化水平与生态环境之间的耦合水平以拮抗阶段为主,但也在逐渐向更高水平迈进,人地关系在逐步改善。

由表4、图3、图4可知,2007年新疆城市化和生态环境的耦合强度与协调强度处于低强度低协调阶段,城市化系统得分远高于生态系统得分,可见此期间的城市化水平较低而生态环境承载力较高;2008—2014年新疆城市化与生态环境处于中强度低协调阶段,此阶段的城市化得分持续上升,而生态环境得分表现出相反的发展趋势,说明城市化迅速发展,但也带来了人口数量、密度的增加以及

由此给生态环境造成的压力,2个子系统之间协调强度经历了先升后降再上升的过程;从2015年开始生态环境综合得分再次升高,2016年新疆城市化与生态环境耦合度已达到拮抗阶段和磨合阶段的临界值,达到中强度中协调,说明在城市化不断发展过程中,新疆越来越注重环境治理和环境保护,主要包括绿化带的扩建、公园的修筑生产设备水平的提高、排污设施的完善等,城市生态环境质量逐步好转。

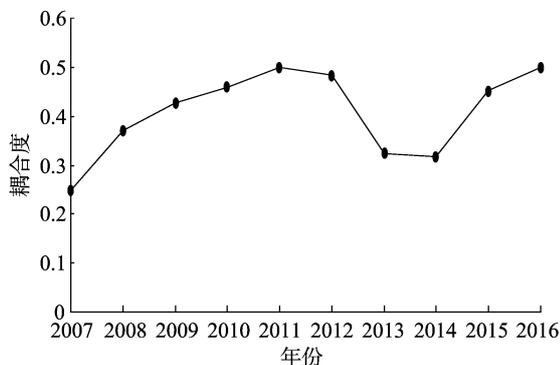


图3 城市化水平与生态环境耦合度

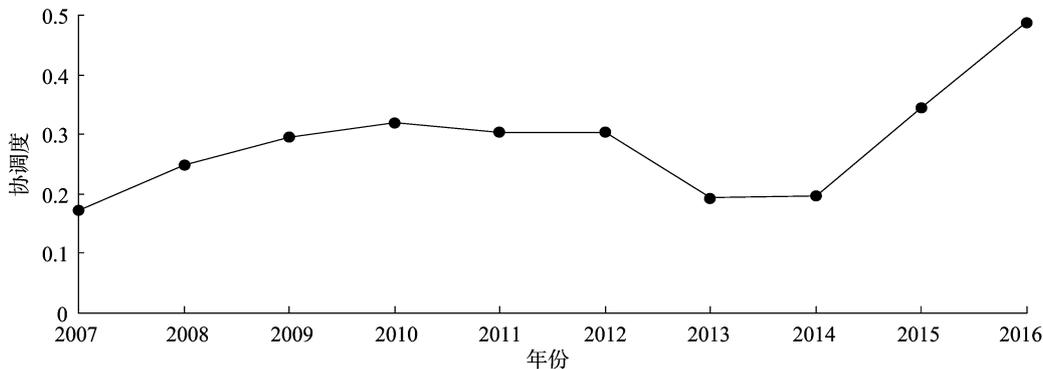


图4 新疆城市化与生态环境协调度分析

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

综述分析结果表明,国内外对于城市化和生态环境关系的研究已经进入一个重要阶段。以往的研究多以统计数据为主,数据源较单一,随着“3S”技术的发展,结合遥感数据、社会统计数据的城市化与生态环境关系的研究已成为发展趋势<sup>[22-23]</sup>。从研究尺度的选择来看,主要是国家尺度、省(市、区)尺度、城市群尺度、城市内部尺度。就研究区选择来看,对于经济发达地区的研究比经济欠发达地区多。这是因为经济发达地区人类活动对原有生态环境的干扰比欠发达地区更大,且数据来源广,较容易进行科学研究。

从研究方法来看,主要包括定性描述和定量分

析评价,近年来对城市化和生态环境的研究逐渐趋于量化。关于城市化与生态环境耦合关系的研究,一些学者通过构建评价指标体系,运用灰色关联分析、动态计量分析、系统耦合分析等方法,探究城市化与生态环境两大系统的交互作用与响应程度<sup>[24-25]</sup>。总体来看,对于生态环境的评价尚未形成统一的评价体系<sup>[26]</sup>,因此,即使是对于同一区域的研究,由于所选指标不同,评价结果也不尽相同。

本研究利用熵值法和耦合协调度模型对新疆10年间的城市化及生态环境耦合协调度进行综合分析,延续了前人的研究<sup>[27-28]</sup>,并为新疆城市化进程中实现绿色发展提供一定的理论参考。

由于数据资料的可得性,本研究仅选取十年间的新疆统计数据进行分析,数据来源较单一,已选指标的普适性还须进一步探索。在今后的研究中,

将结合多元数据及多种方法对其进行综合分析。由于行政区划的变动,本研究没有涉及对各地州市的分区研究,今后将对不同区域的城市化水平和生态环境之间的相互作用进行研究,并找出其发展规律。

#### 4.2 讨论

2007—2016年新疆城市化水平线性上升,发展速度快,此期间人口和经济的城市化是新疆城市化的主要推动力。生态环境子系统水平呈“V”字形发展态势:先是阶梯状下滑,在2010—2011年和2012—2013年生态环境的分值出现了2个下滑的“陡坡”,2014年以后生态环境水平再次提升,说明生态环境状况有所好转。

2007—2016年新疆城市化—环境系统耦合度值介于0.24~0.5之间,跨越了低水平耦合、拮抗、磨合3个阶段,经历了波浪上升的过程,总体而言,耦合水平整体还是较低,以拮抗阶段为主;从耦合协调度的时序特征分析,新疆城市化与环境耦合协调度呈现先升高后降低再次升高的态势,基本处于中低水平,但自2014年以来,二者之间的协调度有逐渐上升的趋势,说明城市化与生态环境之间的关系逐渐协调。

新疆的城市主要分布在绿洲地区,其城市生态环境相对较脆弱,在城市化过程中要特别注意对生态环境的保护,包括政策引导、环保技术的支持、公众环保意识的增强等,使得新疆城市化水平能与生态环境实现良性互动,以便更好地发挥新疆在“一带一路”中作为核心区的作用。

#### 参考文献:

[1] Mitra D, Banerji S. Urbanisation and changing waterscapes: a case study of New Town, Kolkata, West Bengal, India [J]. *Applied Geography*, 2018, 97: 109–118.

[2] 陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. *地理学报*, 2009, 64(4): 387–398.

[3] Wang S, Zhang X, Wu T, et al. The evolution of landscape ecological security in Beijing under the influence of different policies in recent decades [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 646: 49–57.

[4] Liu W J, Jiao F C, Ren L J, et al. Coupling coordination relationship between urbanization and atmospheric environment security in Jinan city [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 204: 1–11.

[5] 方创琳, 鲍超, 黄金川, 等. 中国城镇化发展的地理学贡献与责任使命[J]. *地理科学*, 2018, 38(3): 321–331.

[6] 张雅杰, 刘辉智. 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调关系的时空分析[J]. *水土保持通报*, 2017, 37(6): 334–340.

[7] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境

交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. *地理学报*, 2016, 71(4): 531–550.

[8] 聂艳, 雷文华, 周勇, 等. 区域城市化与生态环境耦合时空变异特征——以湖北省为例[J]. *中国土地科学*, 2008, 22(11): 56–62.

[9] 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): 1198–1206.

[10] Yu S, Lu H. Relationship between urbanisation and pollutant emissions in transboundary river basins under the strategy of the belt and road initiative [J]. *Chemosphere*, 2018, 203: 11–20.

[11] 张山清, 普宗朝, 李景林. 近50年新疆日照时数时空变化分析[J]. *地理学报*, 2013, 68(11): 1481–1492.

[12] 王渊刚, 罗格平, 赵树斌, 等. 新疆耕地变化对区域碳平衡的影响[J]. *地理学报*, 2014, 69(1): 110–120.

[13] 乔标, 方创琳, 黄金川. 干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证[J]. *生态学报*, 2006, 26(7): 2183–2190.

[14] 关妙春, 余济云, 程玉娜. 海南省城市化与生态环境耦合研究[J]. *中南林业科技大学学报(社会科学版)*, 2015, 9(5): 44–49.

[15] 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.

[16] Pincus S M. Approximate entropy as a measure of system complexity [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1991, 88(6): 2297–2301.

[17] 刘雷, 张华. 山东省城市化效率与经济发展水平的时空耦合关系[J]. *经济地理*, 2015, 35(8): 75–82.

[18] 吕越, 陈忠清. 浙江省城镇化与生态—经济—环境耦合发展与动态计量[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(5): 261–265.

[19] 吴玉鸣, 柏玲. 广西城市化与环境系统的耦合协调测度与互动分析[J]. *地理科学*, 2011, 31(12): 1474–1479.

[20] 冯霞, 刘新平. 江苏省城镇化与生态环境系统耦合协同发展的路径选择[J]. *干旱区地理*, 2016, 39(2): 420–427.

[21] 谢彦龙, 李同昇, 李梦雪, 等. 区域创新与经济发展时空耦合协调分析——以陕西省为例[J]. *科技管理研究*, 2017(2): 90–96.

[22] 廖李红, 戴文远, 黄华富, 等. 基于DMSP/OLS和Landsat数据的城市化与生态环境耦合协调分析[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 34(6): 94–103.

[23] 刘巧婧, 王莉红. 城市化与生态环境耦合协调关系研究——以杭州市为例[J]. *环境科学学报*, 2018, 38(10): 4214–4222.

[24] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 211–217.

[25] 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.

[26] 朱贞榕. 基于遥感生态指数(RSEI)的南昌市生态环境质量评价[D]. 南昌: 东华理工大学, 2017.

[27] 刘茜. 新疆城市化与生态环境协调度研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(35): 12704–12706, 12709.

[28] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 105–112.