

重心转移视角下新型城镇化与生态足迹时空 差异及其耦合关系研究 ——以四川省为例¹

淳 阳^{1, 2}, 朱晚秋^{1, 2}, 潘洪义^{1, 2}, 周介铭^{1, 2}

(1. 四川师范大学西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, 四川 成都 610066;

2. 四川师范大学地理与资源科学学院, 四川 成都 610066)

【摘 要】：在生态文明建设理念下，如何实现新型城镇化与生态环境的协调发展已成为我国亟待破解的重大难题。以快速城镇化的四川省为研究对象，运用重心耦合模型，对 2005~2015 年新型城镇化与生态足迹的时空演变、转移路径及空间耦合特征进行分析。结果表明：（1）四川省城镇化与生态足迹水平均呈现持续增长态势，时空差异明显，新型城镇化水平呈现出盆地中部高，由内至外逐层降低的圈层式分布格局，生态足迹水平呈现出以攀（枝花）成（都）绵（阳）为轴线，西北低、东南高的对称式分布格局；（2）新型城镇化重心持续北移、移动幅度较小、规律性明显，生态足迹重心先南移后向北回撤、移动幅度较大、规律性较差；（3）新型城镇化与生态足迹的空间重叠性呈现先靠近后分离再靠近的波动态势，变动一致性由相反到趋同，空间耦合趋势显著。

【关键词】：重心转移；新型城镇化；生态足迹；时空差异；耦合；四川省

【中图分类号】：F291.1

【文献标识码】：A

【文章编号】：1004-8227（2018）02-0306-12

【DOI】：10.11870/cjlyzyhj201802009

改革开放拉开了我国城镇化的帷幕，使其成为保证经济持续增长的强大引擎。据统计，2015 年中国的城镇化率为 56.1%，城镇常住人口达到 7.7 亿，传统高投入、高消耗、高排放的工业化城镇化发展模式使我国能源资源和生态环境面临前所未有的压力，如何破解城镇化进程中对资源环境造成的巨大压力，是中国新型城镇化进程中亟需考虑的现实问题^[1]。党的“十八大”报告、《国家新型城镇化规划 2014-2020》、国家“十三五”规划纲要等党和国家重要文件连续提出要缩小城乡差距、走绿色低碳、高效集约、与生态环境承载力相适应的健康可持续城镇化发展道路^[2]。2015 年世界自然基金会（WWF）发布的《中国新型城镇化的生态足迹影响分析》报告显示，中国的城镇化与生态足迹之间存在显著的正相关，城镇化导致人口结构、生产生活及土地利用方式的不断转变，最终表现为生态足迹的变化^[3]。生态足迹概念由加拿大学者 Rees^[4]于 1992 年提出，随后由其学生 Wackemagel^[5]进行了完善，它是指生产一定人口消费的资源及吸纳产生的废弃物所需要的生物生产性面积^[7]，能在一定程度上衡量人类对自然资源的利用程度，在国内外已得到广泛的认可和应用。目前，国内学者从全国^[8, 9]或省域尺度对城镇化与生态足迹的关系展开

¹【收稿日期】：2017-04-13；修回日期：2017-05-08

【基金项目】：国家自然科学基金（41371125）；四川省教育厅项目（16ZB0061）

【作者简介】：淳 阳（1992~），男，硕士研究生，主要从事土地利用与评价研究。E-mail: 1028817377@qq.com

了大量的研究，主要体现在两个方面：一是城镇化进程中生态足迹的动态变化及其影响因素研究，高静等^[10]通过生态可持续指数将安徽省的生态可持续程度划分为 6 个等级并运用 GM (1, 1) 模型进行了预测；王荣森等^[11]通过构建回归模型得出安徽省城镇化率超过 22.8% 时，生态足迹随城镇化率的提高而增加；张云兰等^[12]利用最小二乘法 (PLS) 获得广西省人均生态足迹的影响因子重要性程度排序为：第二产业 GDP > 第一产业 GDP > 第三产业 GDP > 城镇化率 > 城镇居民人均消费支出 > 全社会固定资产投资总额 > 农村居民人均消费支出 > 常住人口。二是城镇化与生态环境间的关系，阳婷^[13]、黄金川等^[14]、刘耀彬等^[15, 16]、陈晓红等^[17, 18]、张郁等^[19]、刘凯等^[20]等探讨了城镇化与生态环境的耦合关系；张雷^[21]、姚士谋等^[22]、方创琳等^[23]、洪大用^[24]、庄贵用等^[25]、李双成等^[26]等致力于资源环境对城镇化的基础作用和约束机制研究。然而，以往学者们多致力于从城镇化与生态足迹概念本身出发研究二者间的相互关系及城镇化进程中生态足迹的影响因素，忽略了生态足迹对于城镇化效应在时空上的交互联系和滞后性，特别是针对区域的实证研究更少。因此，如何从时空尺度上刻画新型城镇化与生态足迹的区域发展空间均衡过程、耦合态势、并进一步分析其变化原因是本文旨在解决的关键问题。

四川省是依托黄金水道推动长江经济带发展的战略腹地和重要增长极、促进长江经济带与丝绸之路经济带联动发展的战略纽带和重要依托、保障国家安全和维护民族团结的战略前沿和生态屏障。近年来，随着城镇化的快速发展，资源消耗加剧，生态环境压力骤增，提高新型城镇化质量，降低生态足迹，尽早的实现环境 Kuznets 曲线的倒“U”型增长迫在眉睫。基于此，构建指标体系对 2005~2015 年四川省新型城镇化和生态足迹水平进行测度，运用重心转移耦合模型探讨近 11 年来四川省城镇化与生态足迹间的时空演变特征具有重要的现实意义，以期四川省实现新型城镇化与生态环境的协调发展提供科学合理的依据。

1、研究区概况

四川全省总面积 48.6 万 km²，居全国第五位，辖 21 个市（州），是我国的资源、人口、经济大省。四川省资源丰富，耕地面积 399.25 万 hm²，水域面积 2557.7 亿 m³，人均占有量达 3148.5m³，是全国平均水平的 1.58 倍，森林覆盖率 35.76%，已发现各种金属、非金属矿产 132 种，占全国总数的 70%；其中有 11 种矿产位居全国第一，（钒、钛）世界之最。2005~2015 年末，全省城镇化率由 33% 上升至 47.7%，年均增速 1.47%，高于全国平均水平 1.3%；人均 GDP 由 9060 元增长至 36980.79 元，增长了 4.08 倍，实现了经济社会的跨越式发展。

2、数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文数据分为空间数据和属性数据两种，空间数据采用中国基础地理数据 1: 50 万四川省行政区划图。属性数据来源于 2006~2016 年《四川统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《四川交通统计年鉴》及各地市州的国民经济和社会发展公报。

2.2 新型城镇化与生态足迹综合水平测度

2.2.1 新型城镇化与生态足迹指标体系

遵循科学性、现势性和可获取性原则，基于新型城镇化强调以人为核心、注重城镇功能的完善提升、改善生态环境、实现城乡一体化协调发展的内涵，在前人研究基础上，结合区域实际从人口城镇化、经济城镇化、空间城镇化、社会城镇化、生态环境、城乡统筹 6 个维度构建新型城镇化评价指标体系。

人口城镇化。表现为人口向城镇聚集、农业人口转为非农人口及不同产业从业人口结构的变化。指标选取非农人口比重、建成区人口密度、二、三产业人口比重。

经济城镇化。新型城镇化要求实施创新驱动、引领经济“集约高效”发展。指标选取人均 GDP、人均工业总产值、第三产业比重、单位 GDP 能耗、人均消费品零售总额、R&D 投入占 GDP 比重。

空间城镇化。新型城镇化强调土地节约集约利用、提升土地利用效率、避免盲目扩张。指标选取人均建成区面积、建成区面积占地区总面积比重、人均公共绿地面积、人均道路面积。

社会城镇化。新型城镇化强调完善城市基础设施、着力提升城乡居民生活质量。指标选取万人拥有医生数、万人拥有在校高中生数、城镇职工基本医疗保险参保人数比重、万人拥有图书馆藏书量。

生态环境。新型城镇化提倡“绿色低碳”、“资源高效”、全面提升生态系统功能。指标选取建成区绿化覆盖率、工业废水排放达标率、人均工业 SO₂排放量、人均生活垃圾清运量。

城乡统筹。新型城镇化倡导缩小城乡收入差异、促进公共资源在城乡间均衡配置、形成城乡共同发展新格局。指标选取城乡人均可支配收入比、城乡恩格尔系数比、道路便捷度（将成都、德阳、绵阳、眉山、资阳、遂宁划为平原区，南充、广安、达州、广元、巴中、内江、自贡、宜宾、泸州、乐山、雅安、攀枝花划为丘陵区，甘孜州、阿坝州、凉山州划为高山高原区；根据专家打分法对每一类型区内高速公路、国道、省道、县道的重要性赋权，根据各等级公路里程数进行加权求和后再标准化处理）。

结合四川省地处低山丘陵区及其生产消费的实际情况，将四川省的生态足迹账户主要分为生物资源账户和能源消费账户。生物资源账户包含农产品（粮食、棉花、花生、油菜籽、甘蔗、麻类）；林产品（茶叶、水果）；禽畜产品（奶、蚕茧、禽蛋）；水产品。能源消费账户包含化石能源（煤炭、石油、天然气、）和建设用地（电力）。此外为了使计算结果更加精确，本文在采用杨屹^[27]利用 13 个年份的均衡因子平均值的基础上，结合四川省农用地综合生产能力调查与评价结果，将四川省耕地、草地、林地、水域、建设用地、化石能源用地的均衡因子分别确定为 2.34、1.64、0.48、0.32、1.64、2.34（表 1）。

表 1 新型城镇化和生态足迹指标体系与指标权重

目标层	因素层	指标层	单位	权重
新型城镇化	人口城镇化	非农人口比重	%	0.3136
		建成区人口密度	人/km ²	0.3365
		二、三产业人口比重	%	0.3499
	经济城镇化	人均 GDP	元	0.1854
		人均工业总产值	元	0.1947
		第三产业比重	%	0.1472
		单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	0.1767
		人均消费品零售总额	元	0.1523
	空间城镇化	R&D 投入占 GDP 比重	亿元	0.1437
		人均建成区面积	km ² /人	0.3043
		建成区面积占地区总面积比重	%	0.1954
		人均公共绿地面积	m ² /人	0.2812
		人均道路面积	m ² /人	0.2191
	社会城镇化	万人拥有医生数	人/万人	0.2887
		万人拥有在校高中生数	人/万人	0.3196
		城镇职工基本医疗保险参保人数比重	%	0.1752

生态足迹	生态环境	百人拥有图书馆藏书量	册/百人	0.2165
		建成区绿化覆盖率	%	0.3906
		工业废水排放达标率	%	0.1937
		人均工业 S02 排放量	t/万人	0.2473
		人均生活垃圾清运量	t/万人	0.1684
	城乡统筹	城乡人均可支配收入比	—	0.3881
		城乡恩格尔系数比	—	0.3674
		道路便捷度	—	0.2445
	生物资源账户	耕地	粮食；棉花；花生；油菜籽；甘蔗；麻类	
		林地	茶；水果	
草地		奶；蚕茧；禽蛋		
水域		水产品		
能源消费账户	建设用地	电力		
	化石能源用地	煤炭；石油；天然气		

2.2.2 数据标准化处理

设指标样本集为 $(X_{ij})_{m \times n}$, X_{ij} 代表样本 i 的第 j 个指标值, m 、 n 分别代表样本的个数和指标的数目, $i = (1, 2, \dots, m)$, $j = (1, 2, \dots, n)$ 。为了消除指标量纲的影响, 本文采用极差法对数据进行标准化处理, 公式为:

正向指标:
$$Y_{ij} = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

负向指标:
$$Y_{ij} = (X_{\max} - X_{ij}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

式中: Y_{ij} 为城市 j 第 i 个指标的标准化值; X_{ij} 为城市 j 第 i 个指标的原始值; $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为第 i 个指标的最大值和最小值。

2.2.3 组合赋权法

传统的权重确定方法都在一定程度上受到主客观因素的影响。因此, 本文用组合赋权法确定权重, 由熵值法确定客观权重 W^{1j} 和 AHP 法确定主观权重 W_{2j} 得到组合权重、 W_j , 由于熵值法^[28]和 AHP 法^[29]确定权重的方法在应用方面均较成熟, 本文不再赘述。

根据最小相对信息熵原理构建函数:

$$F = \sum_{j=1}^n W_j (\ln W_j - \ln W_{1j}) + \sum_{j=1}^n W_j (\ln W_j - \ln W_{2j}) \quad (2)$$

其中 $\sum_{j=1}^n W_j = 1, W_j > 0$ ，利用拉格朗日乘数法解得最优解即综合权重为：

$$W_j = \sqrt{W_{1j} W_{2j}} / \sum_{j=1}^n \sqrt{W_{1j} W_{2j}} \quad (3)$$

综合评价得分：

$$F_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot W_j \quad (4)$$

2.3 生态足迹

生态足迹计算采用国际通用的计算公式：

$$\begin{aligned} EF &= N \cdot ef = N \cdot \sum_{j=1}^6 (r_j \cdot aa_j) \\ &= N \cdot \sum_{j=1}^6 \left[r_j \cdot \sum_{i=1}^n (a_i) \right] \\ &= N \cdot \sum_{j=1}^6 \left[r_j \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{c_i}{p_i} \right) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

式中：EF 为区域总生态足迹；N 为总人口；ef 为人均生态足迹； r_j 为均衡因子； aa_j 为生物生产性土地面积， $j=1, 2, \dots, 6$ ； a_i 为 i 种消费项目折算的生态生产性面积； i 为消费项目类型； p_i 为 i 种消费品的平均生产能力； c_i 为 i 种消费品的平均生产能力； n 为消费品的数量。

2.4 重心理论模型

2.4.1 重心计算

若某研究区由 n 个次级单元构成， (x_i, y_i) 为单元 i 的重心坐标， G_i 为该单元各因素的属性值，其重心坐标计算公式为：

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n G_i x_i}{\sum_{i=1}^n G_i}, Y = \frac{\sum_{i=1}^n G_i y_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (6)$$

2.4.2 重心移动距离

$$D_{ij} = R \cdot \sqrt{(y_i - y_j)^2 + (x_i - x_j)^2} \quad (7)$$

式中：D 为不同年份间重心转移的距离； i, j 为不同的年份； (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 分别为第 i 年的区域重心坐标；R 为常数，取值 111.11km。

2.5 重心耦合模型

2.5.1 空间重叠性

空间重叠性用于衡量两者之间的空间距离，距离越近耦合性越高，反之，耦合性越低。E、P 为不同年份的重心坐标，计算公式为：

$$S = \sqrt{(x_E - x_P)^2 + (y_E - y_P)^2} \quad (8)$$

2.5.2 变动一致性

变动一致性表示两重心相对于上一时间点移动的夹角 θ ， $0^\circ < \theta < 180^\circ$ ，用其余弦值 C 表征， $-1 \leq C \leq 1$ ， $C=1$ 时表示完全同向， $C=-1$ 时表示完全反向。设重心较上一个时间点经度和纬度的变化量分别为 Δx 和 Δy ，根据余弦定理：

$$\begin{aligned} C &= \cos \theta \\ &= \frac{(\Delta x_E^2 + \Delta y_E^2) + (\Delta x_P^2 + \Delta y_P^2) - [(\Delta x_E^2 - \Delta y_E^2) + (\Delta x_P^2 - \Delta y_P^2)]}{2\sqrt{(\Delta x_E^2 + \Delta y_E^2)(\Delta x_P^2 + \Delta y_P^2)}} \\ &= \frac{\Delta x_E \Delta x_P + \Delta y_E \Delta y_P}{\sqrt{(\Delta x_E^2 + \Delta y_E^2)(\Delta x_P^2 + \Delta y_P^2)}} \end{aligned} \quad (9)$$

3、四川省新型城镇化与生态足迹时空演变

3.1 新型城镇化与生态足迹时序演变

研究期内四川省新型城镇化水平与生态足迹总体上均呈现逐年增大的态势，不同城市间差异显著（图 1）。就新型城镇化而言，只有成都、攀枝花的综合得分高于 0.5，反映出四川省总体新型城镇化水平不高，以中等水平以下城市为主。新型城镇化水平平均值由 2005 年的 0.2672 增至 2015 年的 0.3012，涨幅为 12.7%。2005~2015 年新型城镇化水平最高和最低的城市均未发生变化，分别为成都、巴中；泸州、南充、广元、阿坝州、巴中等城市增长幅度超过 20%，德阳、乐山等城市增幅较小，分别为 7.83% 2.28%。就生态足迹而言，四川省生态足迹平均值由 2005 年的 198.34 万 hm^2 增至 2015 年的 313.13 万 hm^2 ，涨幅为 57.88%。2005~2015 年生态足迹水平最高和最低的城市均未发生变化，分别是成都市和阿坝州；成都、泸州、绵阳、南充、眉山、宜宾、资阳、达州等城市的生态足迹增长幅度均超过了 130 万 hm^2 ，雅安、阿坝、甘孜的增幅最小，分别为 21.21 万 hm^2 、11.06 万 hm^2 、11.36 万 hm^2 。利用变异系数表征 2005~2015 年四川省城镇化与生态足迹的变动趋势（图 2），2005~2015 年新型城镇化的变异系数由 0.58 下降到 0.35，生态足迹的变异系数由 0.52 上升到 0.65，表明新型城镇化的区域差异在不断减小，而生态足迹的区域差异却呈现逐年扩大的趋势。

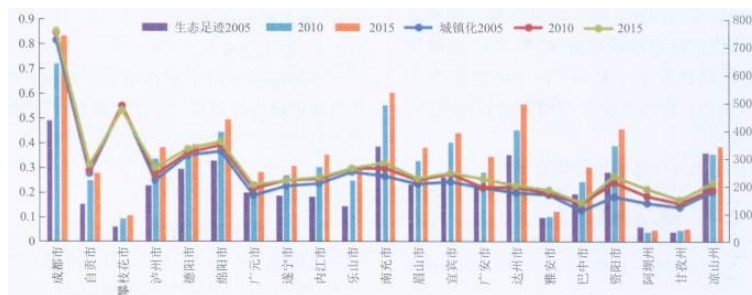


图 1 四川省新型城镇化与生态足迹评价结果

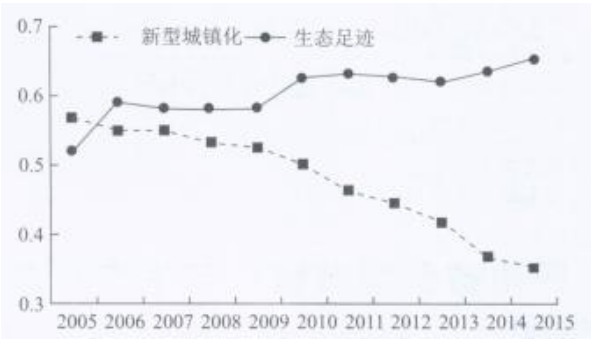


图 2 四川省新型城镇化与生态足迹变异系数

3.2 新型城镇化与生态足迹空间分异

将新型城镇化与生态足迹综合得分数据用 SPSS 聚类分析法分为低水平、较低水平、中等水平、较高水平、高水平 5 大类，并结合 Arc-GIS10.3 对其进行空间可视化表达（图 3、图 4）。

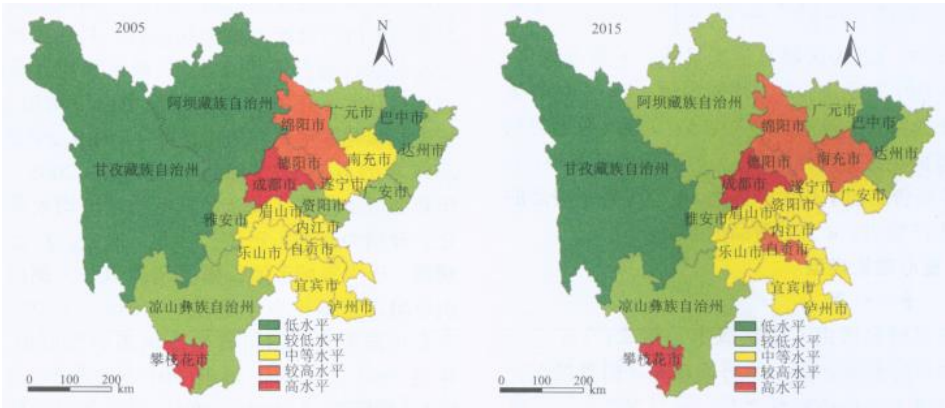


图 3 四川省新型城镇化水平空间分异

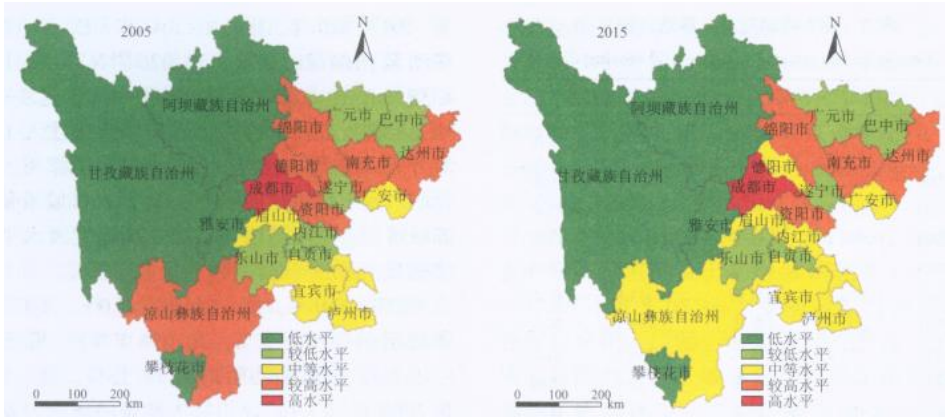


图 4 四川省生态足迹空间分异

四川省新型城镇化空间分布格局总体趋于稳定，仅局部发生变化，呈现出盆地中部高，由内至外逐层降低的圈层式分布格局。从各级别的城市数量来看，总体呈现中等水平>较低水平>较高水平>低水平>高水平的趋势，高水平城市为成都和攀枝花，占全省城市总数比例仅为 9.52%；较高水平由 2 个增加到 4 个，占全省的比例由 9.52%上升到 19.05%，南充、自贡两城市由中等水平变为较高水平；中等水平城市依然为 8 个，占全省的比例为 38.10%，资阳由较低水平变为中等水平；较低水平城市由 6 个降为 5 个，占全省的比例由 28.57%降为 23.81%，阿坝州由低水平跻身到较低水平；低水平城市由 3 个降到 2 个，占全省的比例由 14.29%降为 9.52%，甘孜州、巴中始终处于低水平。

四川省生态足迹空间分布格局以盆地东南部变动最为剧烈，呈现出以攀（枝花）成（都）绵（阳）为轴线，西北低，东南高的对称式分布格局。从各级别的城市数量来看，总体呈现中等水平>较低水平>低水平>较高水平>高水平的趋势，高水平城市只有成都，占全省的比例为 4.76%；较高水平由 6 个变为 4 个，占全省的比例由 28.57%下降至 19.05%；中等水平城市数量由 4 个变为 7 个，占全省比例由 19.05%上升至 33.33%，新增内江、德阳、凉山州；较低水平城市数量由 6 个变为 5 个，占全省比例由 28.57%下降至 23.81%；低水平城市数量未发生变化，始终为 4 个，占全省比例为 19.05%。

由此可见，四川省新型城镇化水平总体偏低，2015 年中低及低水平的城市数量占比为 33.33%，多分布在川东北丘陵区及川西北高山高原区；生态足迹水平偏高，2015 年中等水平及以上的城市数量占比高达 52.38%，多分布在成都平原城市群及川南地区。

4、重心移动及轨迹计算

由公式（4）、（5）、（6）得到 2005~2015 年四川省新型城镇化和生态足迹重心坐标（表 2）及四川省的地理重心坐标。由公式（7）计算 2005~2015 年四川省城镇化和生态足迹重心移动的距离、方向（表 3），并用 ArcGIS10.3 将其进行可视化表达（图 5）。

表 2 重心坐标（°）

年份	新型城镇化		生态足迹	
	经度	纬度	经度	纬度
2005	104.2578	30.0465	104.8893	30.3490
2006	104.2665	30.0649	104.8921	30.3219
2007	104.2814	30.0767	104.8772	30.3084
2008	104.2870	30.0741	104.8572	30.2939
2009	104.2885	30.0784	104.8646	30.2885
2010	104.2949	30.0820	104.8653	30.3069
2011	104.3040	30.0880	104.9130	30.3200
2012	104.3053	30.0896	104.9198	30.3205
2013	104.3105	30.0963	104.9295	30.2975
2014	104.3116	30.1006	104.9181	30.3143
2015	104.3126	30.1056	104.9112	30.3154

表 3 重心移动距离、移动方向

年份	城镇化		生态足迹	
	距离 (km)	方向	距离 (km)	方向
2005~2006	2.2678	东北	3.0252	东南
2006~2007	2.1072	东北	2.2329	西南
2007~2008	0.6891	东南	2.7412	西南
2008~2009	0.5042	东北	1.0172	东南
2009~2010	0.8205	东北	2.0438	东北
2010~2011	1.2088	东北	5.4927	东北
2011~2012	0.2252	东北	0.7663	东北
2012~2013	0.9472	东北	2.7724	东南
2013~2014	0.4891	东北	2.2608	西北
2014~2015	0.5747	东北	0.7753	西北

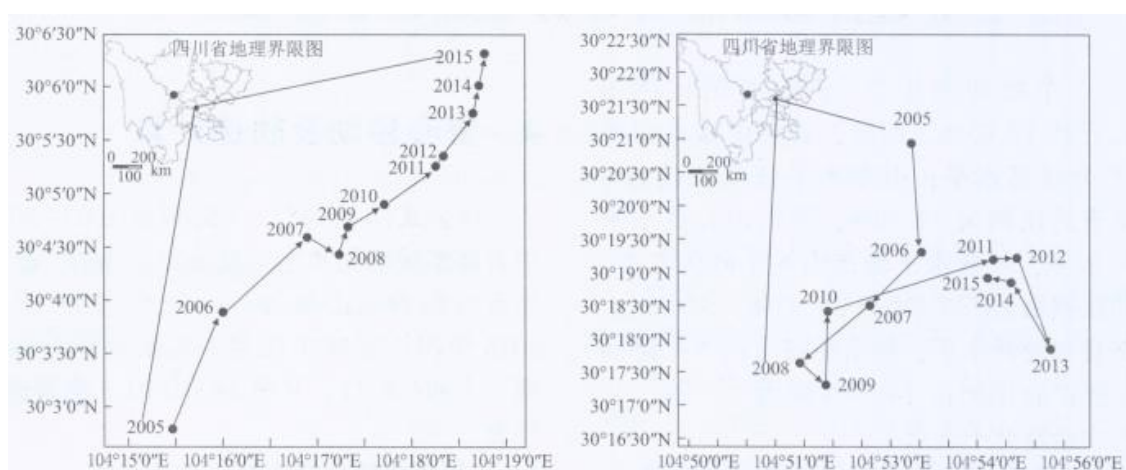


图 5 四川省新型城镇化与生态足迹转移路径

4.1 新型城镇化重心轨迹变动特征

由表 2 和图 5 可以看出，四川省新型城镇化的重心较地理重心处于偏东南约 187.03km 处的眉山市境内（图 5），总体沿东北方向呈“一”字形渐变趋势，个别年份出现波动，研究期内累计移动 9.83km。按照其变动特征可分为 3 个阶段：

2005~2007 年，重心由（104.2578° E，30.0465° N）移动至（104.2814° E，30.0767° N），累计移动 4.38km，占总移动距离的 44.49%。这一时段，社会经济发展活跃，为全省的城镇化注入了新的活力。以成都为起点，沿东北方向的德阳、绵阳等城市属于城镇化的“领头羊”，人口城镇化、经济城镇化、空间城镇化、城乡统筹发展水平平均大幅提升，重心向北转移。

2008~2009 年，重心由（104.2870° E，30.0741° N）移动至（104.2885° E，30.0784° N），累计移动 1.19km，占总移动距离的 12.13%。这一时段，受 2008 年“5·12”汶川特大地震的影响，盆地北部沿龙门山地震带分布的都江堰、绵阳、德阳、广元等城市地处重灾区，导致农业、国省干线交通路网、电力、通讯等基础设施严重受损，九寨沟、黄龙、银厂沟、都江堰等重

要旅游景点都处于此次灾害的波及范围，对旅游业影响较大，政府工作重心转移，城镇化进程受到限制。川南地区的城市受地震影响相对较小，城镇化进程稳步提升，重心向东边移动。

2010~2015 年，重心由 (104.2949° E, 30.0820° N) 沿东北方向移动至 (104.3126° E, 30.1056° N)，累计移动 4.27km，占总移动距离的 43.38%。这一时段，国务院颁布《汶川地震灾后恢复重建对口支援》文件，“一省帮一县”的政策成为四川省经济发展的强劲动力，全省 GDP 增速排名跻身“全国四强”。德阳、绵阳、广元、阿坝四个重灾城市的灾后重建工作持续推进，对四川省经济增长的贡献率大幅提升，城镇化建设在原有基础上飞速发展。随后，借助成渝城市群建设，确立了“一极一轴一区块”的区域发展格局，以兰渝铁路、广渝高速公路和嘉陵江航道等为依托，构建以南充、达州为核心，沿江、沿线带动“双核五带”城市群发展，全省的新型城镇化发展迸发出前所未有的活力。但总体而言，盆地南部的新型城镇化水平发展速度稍慢于盆地北部，重心不断向东北方向移动。

4.2 生态足迹重心轨迹变动特征

四川省生态足迹的重心较地理重心处于偏东南约 247.17km 处的资阳市境内(图 5)，整体呈现以 2005 年为分界线的近似“对称式”渐变格局，波动明显，研究期内累计移动 23.13km。按照其变动特征可分为 3 个阶段。

2005~2009 年，重心由 (104.8893° E, 30.3490° N) 快速移动至 (104.8646° E, 30.2885° N)，累计移动 9.02km，占总移动距离的 38.99%。这一时段，川东北丘陵区作为四川省的传统农业主产区，耕地坡度起伏大，传统种植方式周期长、效益低、成本高，同时受技术条件、耕地质量、农民思想意识等多因素的影响导致农民种植积极性下降，导致大量人口外流，耕地撂荒，盆地北部的农业生产能力明显下降。盆地中部的成都平原区及川南地区的城镇化进程加快，成都、自贡、内江、泸州等城市的非农业人口快速增长，人口向城镇的大量转移导致各类生物资源的消费需求进一步增加，生态足迹随之增加。川南城市群及攀枝花工业基础较好，二、三产业的主导作用日益凸显，第二产业对化石能源消耗量的剧增，导致重心不断南移。

2010~2012 年，重心由 (101.8653° E, 30.3069° N) 移动至 (104.9198° E, 30.3205° N)，累计移动 8.30km，占总移动距离的 35.90%。这一时段，川东北地区的农业基础设施得到全面改进，农田水利灌溉保证度提升，极大地改善了农业生产环境，川东北城市群的粮食产量、花生、油菜籽产量占全省比例分别为 38%、59.38%、51.34%。同时，川西名优绿茶、川北富硒茶产业带、川东北特色油橄榄种植业大力发展，北部的农业生产力得到大幅提高，重心向北回撤。

2013~2015 年，生态足迹重心由 (104.9295° E, 30.2975° N) 移动至 (104.9112° E, 30.3154° N)，累计移动 5.81km，占移动总距离的 25.11%。这一时段，凉山州攀钢二基地建成投用，带动十余万人向西昌转移，资源需求量及废物排放量大幅增加，川南地区城市第二产业比例的快速增长导致化石能源的消耗剧增，生态足迹不断增加。同时，川东北及川西北高原地区的生物生产能力持续提升，生态承载力增加，生态环境大幅改善，重心先向东南移动后又折回西北。

4.3 耦合态势及意义

4.3.1 耦合态势

根据公式 (8)、(9) 计算新型城镇化重心与生态足迹重心的空间重叠性与变动一致性(图 6)。四川省新型城镇化重心与生态足迹重心在空间上相互分离，互不交叉，均位于地理重心的东南方向，区域间差异的存在推动人口向高城镇化水平区域集聚，人口增加、产业结构转变导致消费规模扩大和消费模式改变，驱使新型城镇化重心和生态足迹重心逐渐靠近，呈现较为明显的耦合关系。

研究期内四川省新型城镇化与生态足迹重心的空间耦合态势先靠近后分离再靠近，大致可分为 3 个阶段：2005~2008 年靠

近 9.91km，变动一致性较低，盆地中部及北部得益于成德绵城市轴线的发展使得新型城镇化重心年均北移 1.69km，盆地南部多为工业主导型城市，传统的“工业化”城镇化发展模式导致生态足迹不断上升，生态足迹重心年均南移 2.67km，生态足迹重心移动的速度快于新型城镇化重心；2008~2012 年分离 5.05km，变动一致性逐渐增强，德阳、绵阳、广元、南充等城市受汶川地震及灾后重建的影响，城镇化的发展经历短暂低迷期后迅速恢复，生态生产能力也进一步提升，除 2009 年外新型城镇化重心与生态足迹重心均向北移动，生态足迹重心移动的速度仍快于新型城镇化重心；2012~2015 年靠近 2.47km，变动一致性趋于减弱，盆地南部城市的产业结构处于转型阶段，进入发展的“瓶颈期”，新型城镇化水平提升速度较慢，川东北城市群仍保持良好的发展势头，导致资源消费加剧，生态足迹上升，但新型城镇化重心与生态足迹重心移动速度均有所下降，表明这一时段新型城镇化的发展更注重“质”的提升和环境保护；2005~2015 年两者间重心距离由 77.81km 下降到 70.48km，持续靠近，生态足迹重心移动速度和方向的变化幅度均强于新型城镇化重心，表明相对于新型城镇化发展水平而言，生态足迹的变化更具有敏感性。

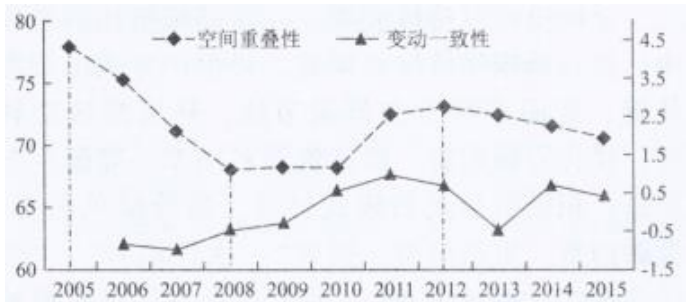


图 6 空间重叠性和变动一致性

4.3.2 耦合意义

新型城镇化重心与生态足迹重心的耦合及转移路径的演变，对四川省经济社会发展、新型城镇化质量提升及生态环境建设具有重要的指导意义。

持续推进新型城镇化。以“一带一路”和“长江经济带”战略为契机，从区域实际出发，率先发展成都平原城市群，加快户籍制度和土地制度改革，有序推进农业转移人口市民化，优化城镇空间结构布局，实现土地的节约集约利用，推进以人为本、人地协调、可持续发展的城镇化，将其打造成辐射全省的增长极；大力发展川南城市群，转变城镇化发展方式，加快传统产业的转型升级，调整优化产业结构，着力培养高新技术产业、服务性、创新型产业，形成富有四川特色的现代化产业体系；着力培养川东北城市群新兴增长极，加大农业扶持力度，打造特色农产品生产和加工基地，完善干线交通网络，形成川陕甘综合交通枢纽；积极培育攀西城市群，加快战略资源开发，大力扶持清洁能源产业，积极发展阳光生态旅游。通过改革释放城镇化发展潜力，走符合四川实际的“形态适宜、产城融合、城乡一体、集约高效”的新型城镇化道路。

加快改善生态环境。新型城镇化重心和生态足迹的北移，使得盆地中部和南部区域的人口压力、人地矛盾得到有效缓解，退耕还林还草工程得以有效实施，生态环境状况明显好转。今后应巩固和扩大退耕还林还草成果，增加森林覆盖率和绿地面积；加大川西北若尔盖草原湿地生态功能区、川滇森林及生物多样性生态功能区、川东北秦巴生物多样性生态功能区、川西南大小凉山水土保持和生物多样性功能区的建设力度，为成都平原和川南地区输入生态产品，减缓区域生态足迹压力，构建青藏高原和长江上游生态屏障，保障区域生态安全。

全面协调可持续发展。在新型城镇化的进程中，推行低碳经济增长模式，将生产方式由资源依赖、能源消耗型向低碳节能、环境高效型转变，优化资源配置，提高资源利用率，降低生态足迹；积极引导消费模式转变，倡导绿色消费、低碳消费、生态消费，摒弃“一次性消费”、“便捷消费”、“过度消费”，使生态足迹尽早实现减速增长甚至零增长；贯彻落实主体功能区

规划,使新型城镇化发展与资源环境承载力相适应,促进人口、经济、资源环境的空间均衡,从源头上扭转生态环境恶化趋势,促进资源节约与环境保护,实现可持续发展。

5、结论与讨论

本文通过人口城镇化、经济城镇化、空间城镇化、社会城镇化、生态环境与城乡统筹 6 个维度构建评价指标体系,探讨新型城镇化与生态足迹的时空演变格局及其空间耦合关系,评价结果相比部分学者直接用人口城市化率表征城市化水平、第一二产业产值占总产值比重代表产业结构等分析城镇化与生态足迹间的关系所取得的结果更为科学、客观。

(1) 四川省新型城镇化水平逐年上升但增长速度有所减缓,变异系数逐年下降,表明区域差异不断缩小;呈现出盆地中部高,由内至外逐层降低的圈层式分布格局。新型城镇化重心总体沿“一”字形快速向东北方向移动,波动较小,表明城镇化发展是一个较为稳定的过程,惯性作用明显。

(2) 四川省生态足迹水平逐年上升的同时增长速度加快,生态足迹的变异系数逐年扩大,表明区域差异不断扩大;呈现出以攀(枝花)成(都)绵(阳)为轴线,西北低,东南高的对称式分布格局。生态足迹重心总体沿着西南—东北—西北方向移动,波动明显,由于粮食、林地、草地的产量年际变化大,且受到生产积极性、气候条件、市场需求等因素的综合影响,导致生态足迹变动幅度大,惯性差。

(3) 四川省新型城镇化与生态足迹的重心均位于地理重心的东南方向,生态足迹重心的移动幅度大于新型城镇化重心,新型城镇化与生态足迹的空间重叠性呈现靠近—分离—靠近的波动变化,但整体表现为靠近趋势;变动一致性由负变正,表明新型城镇化重心与生态足迹重心虽然在空间上存在一定程度的偏移,但二者具有显著的耦合性;二者重心的耦合说明城镇化水平越高的区域其生态足迹也越高,即新型城镇化水平的提升会加重生态足迹,表明四川省现阶段新型城镇化与生态足迹并未呈现出环境 Kuznets 曲线的倒“U”型关系,处于不可持续状态,这与前人研究的结果基本一致^[30, 31]。

新型城镇化和生态足迹是受人口增长、产业结构升级、消费方式转变、空间扩张、环境治理等多因素共同作用的结果,本文仅从新型城镇化与生态足迹的整体层面上研究了二者之间的关系,未具体的从每一个子系统定量化的分析新型城镇化对生态足迹的影响,在一定程度上影响了数据的分析结果,这也是本研究在今后还需要进一步探讨的方向。

[参考文献]:

[1]张 引,杨庆媛,闵 捷.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.

[2]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.

[3]段雯娟.探索中国可持续的城镇化发展路径 WWF 发布《中国新型城镇化的生态足迹影响分析》报告[J].地球,2015(9):14-18.

[4]REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity : what urban economics leaves out [J].Environment and Urbanization, 1992, 4 (2) : 121-130.

[5]WACKERNAGEL M, REES W E. Our ecological footprint : reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island : New Society Publishers, 1996.

-
- [6]WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELL0, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J].Ecological Economics, 1999, 29 (3) : 375-390.
- [7]REES W E. Eco-footprint analysis : merits and brickbats[J].Ecological Economics, 2000, 32 (3) : 371-374.
- [8]景春梅. 中国新型城镇化与生态足迹[J]. 经济研究参考, 2016, 16 (2720) : 76-78.
- [9]邵 磊. 中国城镇化进程中的生态足迹的时空演变[D]. 安徽财经大学, 2015.
- [10]高 静, 苏维词, 许 均. 快速城镇化背景下的安徽省生态足迹动态变化研究[J]. 山东农业科学, 2015, 47 (12) : 75-79.
- [11]王荣松, 王燕玲. 安徽省生态足迹与与城镇化率的实证研究[J]. 河南科技大学学报, 2015, 33 (4) : 66-69.
- [12]张云兰, 李声明. 城镇化进程中生态足迹的动态变化及影响因素分析——以广西省为例[J]. 改革与战略, 2016, 32(279): 130-134.
- [13]阳 婷. 城镇化与生态环境的耦合协调度分析——以湖北省为例[J]. 华中师范大学研究生学报, 2015, 22 (2) : 166-173.
- [14]黄金川, 方创琳. 城镇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) : 1-10.
- [15]刘耀彬, 李任东, 宋学峰. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联度分析[J]. 地理学报, 2005, 60 (2) : 237-247.
- [16]刘耀彬, 李任东, 宋学峰. 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.
- [17]陈晓红, 吴广斌, 万鲁河. 基于 BP 的城市化与生态环境耦合脆弱性与协调性动态模拟研究——以黑龙江省东部煤电化基地为例[J]. 地理科学, 2014, 34 (11) : 1337-1343.
- [18]陈晓红, 万鲁河. 城市化与生态环境耦合的脆弱性与协调性作用机制研究[J]. 地理科学, 2013, 33 (12) : 1450-1457.
- [19]张 郁, 杨青山. 基于利益视角的城市化与生态环境耦合关系诊断方法研究[J]. 经济地理, 2014, 34 (4) : 166-170.
- [20]刘 凯, 任建兰, 张理娟, 等. 人地关系视角下城镇化的资源环境承载力响应——以山东省为例[J]. 经济地理, 2016, 36 (9) : 77-84.
- [21]张 雷. 现代城镇化的资源环境基础[J]. 自然资源学报, 2010, 25 (4) : 696-704.
- [22]姚士谋, 冯长春, 王成新, 等. 中国城镇化及其资源环境基础[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [23]方创琳, 方嘉雯. 解析城镇化进程中的资源环境瓶颈[J]. 中国国情国力, 2013 (4) : 33-34.
- [24]洪大用. 绿色城镇化进程中的资源环境问题研究[J]. 环境保护, 2014, 42 (7) : 19-24.
- [25]庄贵阳, 谢海生. 破解资源环境约束的城镇化转型路径研究[J]. 中国地质大学学报: 社会科学版, 2015, 15 (2) : 1-10.

-
- [26]李双成, 赵志强, 王仰麟. 中国城市化过程及其资源与生态环境效应机制[J]. 地理科学进展, 2009, 28 (1) : 63-70.
- [27]杨 屹, 加 涛. 21 世纪以来陕西生态足迹和承载力变化[J]. 生态学报, 2015, 35 (24) : 7987-7997.
- [28]于国强, 张维升. 吉林省人口城市化水平的空间对策研究[J]. 商业经济, 2007 (6) : 7-8.
- [29]SAATY T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. Journal of Mathematical psychology, 1977, 15 (3) : 234-281.
- [30]胡雪萍, 李丹青. 城镇化进程中生态足迹的动态变化及影响因素分析——以安徽省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25 (2) : 300-306.
- [31]林黎阳, 许丽忠. 福建省生态足迹驱动因子分析[J]. 福建师大学报 (自然科学版), 2014 (4) : 96-102.