

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2019.02.17

# 江淮生态大走廊城市化与生态环境耦合特征 及其影响因素研究

吉婷婷<sup>1,2</sup>, 王细元<sup>3</sup>

(1. 淮阴师范学院 教师教育学院, 江苏 淮安 223300; 2. 淮河生态经济带研究院,  
江苏 淮安 223300; 3. 淮阴师范学院 城市与环境学院, 江苏 淮安 223300)

**摘要:** 规划驱动下的城市化与生态环境耦合关系是区域协调发展的重要问题。针对江淮生态大走廊规划区, 采用耦合协调模型和灰色分析方法, 探讨了该区域城市化与生态环境的耦合特征及影响因素。结果表明: 2012 - 2016年间, 城市化与生态环境指数均为线性增加过程, 且增幅较大。不同地区城市化指数变化过程较相似, 同步性较好, 但生态环境指数存在一定差异; 城市化与生态环境耦合关系在区域上可划分为两类, 其一为波动型耦合关系, 包括淮安、宿迁和徐州3市, 其二为平稳型耦合关系, 包括扬州、泰州两市; 江淮生态大走廊整体城市化与生态环境的耦合度与协调度都呈线性增加过程, 除2013年外, 其余年份都为高水平耦合阶段。2012和2013年为中、低协调阶段, 2014 - 2016年为高协调或极协调阶段; 空间城市化、社会城市化和人口城市化方面的结构性指标是影响耦合关系的主要城市化因素, 而水气环境是影响耦合关系高低的主要生态环境因素。

**关键词:** 城市化; 生态环境; 耦合关系; 灰色关联分析; 江淮生态大走廊

中图分类号: X171.1; F291.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)02-0107-07

## Coupling interaction and its factors between urbanization and eco-environment in ecological corridor of Yangtze - Huai River

JI Tingting<sup>1,2</sup>, WANG Xiyuan<sup>3</sup>

(1. School of Teacher Education, Huaiyin Normal University, Huaian 223300, China; 2. Research  
Institute of Huaihe Eco-economic Belt, Huaian 223300, China; 3. School of Urban and Environment  
Science, Huaiyin Normal University, Huaian 223300, China)

**Abstract:** The coupling interaction and coordination between urbanization and ecological environment is a key issue for harmonious development in regional planning strategy. This paper uses the coupling interaction and coordination degree model and Grey Relevance Analysis to explore the evolution of urbanization and ecological environment and its influencing factors in the ecological corridor of Yangtze - Huai River (ECYHR). The results showed that: the urbanization and the ecological environment indices generally increased linearly between 2012 and 2016 with a relatively large amplitude. The urbanization indices between different cities had similar trend, but with different ecological environment indices. The five cities in the ECYHR can be divided into two types, one is characterize as fluctuation coupling relationship, which consists of Huaian, Suqian and Xuzhou; the other is featured to be stable coupling relationship, which consists of Yangzhou and Taizhou. The coupling degree between urbanization and ecological environment is in high coupling stage in studied five years except for 2013. The year of 2012 and 2013 are in the low-to-middle coupling coordination stage, and it changed into high coupling coordination stage ever from 2014 to 2016. The indices relevant to spatial, social and the demographic urbanization has larger weight in the factors of the urban system, and the indices relevant to the water and the atmospheric environments has larger weight in consideration of the factors in the aspect of the ecological environment sys-

收稿日期: 2018-05-11; 修回日期: 2018-09-03

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41701034); 淮河生态经济带研究院开放课题(HHKF201905)

作者简介: 吉婷婷(1983-), 女, 江苏涟水人, 硕士, 讲师, 研究方向为区域地理与资源开发利用。

tem.

**Key words:** urbanization; ecological environment; coupling interaction; Grey Relevance Analysis; Ecological Corridor of Yangtze – Huai River

## 1 研究背景

城市化与生态环境的协调发展是区域发展的重要支撑,协调城市化与生态环境关系是学术界和政府部门普遍关注和亟待解决的重要问题<sup>[1-2]</sup>。我国是城市化快速发展的国家,对城市化与生态环境关系的研究一直持续,研究的内容也逐步精细化,涉及到不同的时空尺度<sup>[3-4]</sup>。从理论层面探讨到实践实证分析<sup>[1,5-6]</sup>,从评价指标遴选到模型构建与优化等方面都进行了大量分析<sup>[7-9]</sup>。从城市化与生态环境耦合的时空特征到两者协调发展的质量演进<sup>[1,10-11]</sup>、从耦合关系影响要素分析与协调发展模式的探讨等都开展了诸多研究<sup>[12-14]</sup>。城市化与生态环境的研究还集中在耦合关系的演进趋势、影响要素、耦合机理、动态模拟和路径选择等方面<sup>[2,4,6,10]</sup>。

江淮生态大走廊是近年江苏省政府着力打造的区域性发展规划,在这一规划驱动下,对城市化与生态环境耦合关系的先行评估尤为重要。但是,目前从规划视角下对该区域城市化与生态环境耦合关系的研究尚未展开,基于此,本文拟探讨二者的耦合关系,解析其影响因素,以期为区域规划的科学实施提供参考依据。

## 2 研究区概况

江淮生态大走廊位于南水北调东线长江与淮河流域之间,是以京杭运河为主干线,以南水北调东线输水线路所流经的地级市为范围的区域,包括扬州、泰州、淮安、宿迁、徐州5市(图1)。2016年,区内土地面积42 697 km<sup>2</sup>,人口3 169万人,地区生产总值19 757亿元。

江淮生态大走廊是江苏省政府实现苏中、苏北绿色发展的区域性战略规划,既是现实需要,也是探索新型城镇化发展下GDP和生态财富同步累积的重要途径。江淮生态大走廊建设有着明确的近期和远期目标:到2020年,南水北调东线区域生态环境显著改善,基本形成空间利用集聚高效、生态环境良好、产业结构优化、区域互联互通的生态经济走廊;到2030年,沿线区域社会经济与环境保护协调发展的格局全面形成,成为南水北调工程生态环境治理的样本区。

## 3 数据与方法

本文以江淮生态大走廊淮安、扬州、泰州、宿迁和徐州5市为研究区域,时段为2012-2016年,数据来源于相应年份《江苏统计年鉴》以及各市统计年鉴和环境公报等。通过构建耦合度评价指标体系,运用耦合度与协调度模型,测度城市化与生态环境的耦合关系。

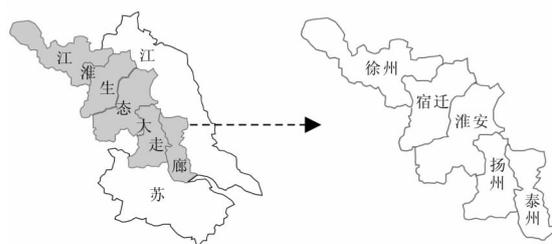


图1 江淮生态大走廊位置范围示意图

采用灰色关联分析方法解析影响耦合关系的主要因素,以各市平均的耦合度与协调度为母序列,以各市2012-2016年指标的平均值作为灰色关联分析序列。灰色关联分析方法详见文献[15]。

### 3.1 指标体系

遵照科学性、可获得性及可操作性原则<sup>[7,9,14]</sup>,从人口城市化、经济城市化、空间城市化和社会城市化4个方面选取11项指标,构建城市化评价体系;从水资源水平和生态环境压力两个方面选取6项指标,建立生态环境评价体系。综合指标体系见表1。

### 3.2 数据处理

3.2.1 数据标准化处理 对原始数据标准化处理,并基于标准化后的数据进行分析。标准化具体方法如下:

(1)对指标值越大越有利于城市化与生态环境协调发展的,采取正向型指标计算公式:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_j}{\max X_j - \min X_j} \quad (1)$$

(2)对指标值越小越有利于城市化与生态环境协调发展的,采取逆向型指标计算公式:

$$X'_{ij} = \frac{\max X_j - X_{ij}}{\max X_j - \min X_j} \quad (2)$$

式中:  $X'_{ij}$  为标准化处理后的指标值;  $X_{ij}$  为标准化处理前的指标值;  $\max X_j$  和  $\min X_j$  分别为第  $j$  项指标的

的最大值与最小值。

3.2.2 指数的计算 基于上述各评价指标标准化值和权重,利用加权求和法计算城市化指数  $f(x)$  和生态环境指数  $g(y)$ 。具体计算方法如下:

$$T = \alpha f(x) + \beta g(y) \quad (3)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^m w_i x_i \quad (4)$$

$$g(y) = \sum_{j=1}^n w_j y_j \quad (5)$$

式中:  $T$  为城市化和生态环境的评价指数;  $w_i, w_j$  为各指标权重。 $x_i$  和  $y_j$  分别为城市化和生态环境的单项指标。 $\alpha$  和  $\beta$  是待定系数(本文认为城市化与生态环境同等重要,因此取  $\alpha = \beta = 0.5$ )。

表 1 江淮生态大走廊城市化与生态环境耦合关系评价指标体系及权重

目标层	一级指标层	二级指标层	指标属性	权重
城市化 (X)	人口城市化	人口(常住人口) /10 <sup>4</sup> 人	正向指标	0.0909
		城镇人口占总人口比重 /%	正向指标	0.0909
	经济城市化	人均地区生产总值 /元	正向指标	0.0910
		人均工业总产值 /10 <sup>4</sup> 元	正向指标	0.0908
		人均建成区面积 /km <sup>2</sup>	正向指标	0.0910
	空间城市化	人均公路里程 /m	正向指标	0.0912
		建成区绿化覆盖率 /%	正向指标	0.0906
		万人拥有医院床位数 /张	正向指标	0.0909
	社会城市化	万人医生数 /人	正向指标	0.0909
		人均邮电业务量 /元	正向指标	0.0910
人均用电量 /(kW · h)		逆向指标	0.0908	
水资源水平		人均水资源量 /m <sup>3</sup>	正向指标	0.1654
生态环境 (Y)	生态环境压力	人均工业废水排放量 / t	逆向指标	0.1674
		人均工业 SO <sub>2</sub> 排放量 / t	逆向指标	0.1672
	人均 COD 排放量/t	逆向指标	0.1666	
	人均氨氮排放量/t	逆向指标	0.1671	
		人均氮氧化物排放量/t	逆向指标	0.1663

3.2.3 熵权重方法 本文指标体系的权重采用熵权重方法,熵是对不确定性信息的一种度量,可计算熵值来判断一个事件的随机性及无序程度,也可用熵值判断某个指标的离散程度。熵权重法步骤<sup>[16-17]</sup>如下:

(1) 选取  $n$  个地区,  $m$  个指标(本文采用主成分方法分析淮河生态经济带水资源承载力评价指标,获得其主要成分得分矩阵),  $X_{ij}^0$  为第  $i$  个市(县)第  $j$  个指标的数值,其中  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

(2) 数据的非负数化处理。对矩阵中高优和低优指标分别进行归一化变换,即:

$$X_{ij} = \frac{X_{ij}^0}{X_{ij}^0 \max} \quad (\text{高优正向指标}) \quad (6)$$

$$X_{ij} = \frac{X_{ij}^0 \min}{X_{ij}^0} \quad (\text{低优负向指标}) \quad (7)$$

(3) 计算第  $j$  项指标下第  $i$  个市(县)占该指标

的比重  $P_{ij}$ :

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (8)$$

(4) 计算第  $j$  项指标的熵值  $e_j$ :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (9)$$

式中:  $k > 0, k = 1/\ln(n), e \geq 0$

(5) 计算第  $j$  项指标的变异系数。对于第  $j$  项指标,指标值  $X_{ij}$  的差异越大,对  $X_{ij}$  的作用就越大,熵值就越小。定义变异系数  $v_j$  为:

$$v_j = 1 - e_j \quad (10)$$

(6) 计算熵权重  $w_j$

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{j=1}^m v_j} \quad (11)$$

### 3.3 城市化与生态环境耦合协调模型

3.3.1 耦合协调模型的建立 参考相关文献并考虑到城市化与生态环境耦合作用的特性,构建耦合协调度模型如下<sup>[7,9,14]</sup>:

$$C = \frac{f(x)^k g(y)^k}{T^{2k}} \quad (12)$$

$$D = \sqrt{T \cdot C} \quad (13)$$

式中: $C(0 < C < 1)$ 为耦合度, $C$ 越大越协调,反之, $C$ 越小越失调; $D(0 < D < 1)$ 为协调度, $D$ 越大,协调度则越高; $k$ 为调节系数,一般情况下, $2 \leq k \leq 5$ ,本文因只有城市化与生态环境两个子系统,在此取 $k = 2$ 。

3.3.2 耦合类型的判别 参考已有文献<sup>[9,12,14]</sup>,依据耦合度 $C$ 值,对城市化与生态环境耦合类型从

无序到有序耦合共划分为4个阶段,具体阶段划分及阈值见表2。

3.3.3 协调类型的判别 考虑耦合协调度 $D$ 的值,将城市化系统与生态环境协调发展划分为4个阶段<sup>[12]</sup>,具体见表3。

## 4 城市化与生态环境指数变化特征

### 4.1 城市化指数变化

2012-2016年间,江淮生态大走廊各市城市化指数总体为升高趋势(图2),为稳定提升的城市化发展过程。近5年,指数均值最高的为扬州市的0.5132;最低为泰州市的0.4609。尽管城市化指数都呈线性增加趋势,但各市增长幅度略有差异,其中淮安增长速度最大,而扬州最小。

表2 江淮生态大走廊城市化与生态环境耦合类型的阶段划分及阈值

$0 < C \leq 0.3$	$0.3 < C \leq 0.5$	$0.5 < C \leq 0.8$	$0.8 < C < 1$
分离阶段	颤颤阶段	磨合阶段	耦合阶段

表3 江淮生态大走廊城市化与生态环境协调度发展阶段划分及阈值

$0 < D \leq 0.3$	$0.3 < D \leq 0.5$	$0.5 < D \leq 0.8$	$0.8 < D < 1$
低协调阶段	中协调阶段	高协调阶段	极协调阶段

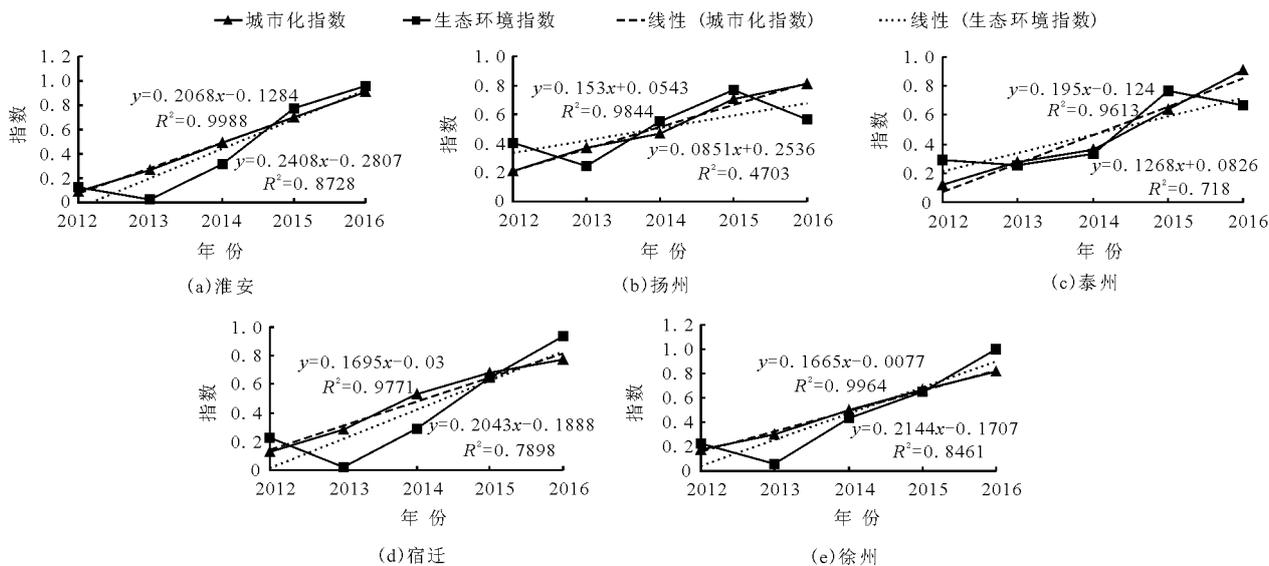


图2 2012-2016年江淮生态大走廊各市的城市化与生态环境指数变化过程

大走廊平均的城市化指数也表现为较突出的线性增加趋势(图3),由2012年的0.2505增加到2016年的0.7849,增长幅度偏大,近5年增长了0.5344,表明区域城市化水平的总体提升。

### 4.2 生态环境指数变化

与城市化指数变化不同,研究区生态环境指数的变化在不同地区存在一定差异(图2)。可以发现,随着城市化指数的逐渐增加,不同地区生态环境

指数亦为增加趋势。

近 5 年间,淮安、宿迁和徐州 3 市生态环境持续增加(图 2),在 2016 年为最大,但指数最低年份都出现在 2013 年,有较大的波动,且这 3 个地区变化过程较为相似。扬州和泰州生态环境变化过程较为相似,这两市 2012-2015 年间生态环境指数都为持续增加,但在 2016 年却为减小过程。江淮生态大走廊内淮安、扬州、泰州、宿迁和徐州 5 市的生态环境指数 10 a 线性增长率分别为 2.408、0.851、1.268、2.043 和 2.144,淮安最大,扬州最小。

而从研究区的平均状况看(图 3),生态环境指数总体在增加,由 2012 年的 0.2326 增加到 2016 年的 0.7961,增加幅度为 0.5635,幅度偏大。其中,2013 年为指数最低时期。

由此可见,江淮生态大走廊地区生态环境与城市化在变化时序上具有较好的同步性特征,且都呈升高趋势,表明城市化过程中,生态环境压力不断升高,其对生态环境的胁迫效应也较突出。

### 5 城市化与生态环境耦合关系

#### 5.1 不同地市的耦合关系

从江淮生态大走廊城市化与生态环境耦合度与协调度变化(图 4)可以看出,耦合水平和协调度可以划分为两类,其一为波动型耦合关系,即城市化与生态环境耦合变化过程波动较大的类型,包括淮安、宿迁和徐州 3 市;其二为平稳型耦合关系,即城市化与生态环境耦合变化过程较为平稳的类型,包括扬州、泰州两市。

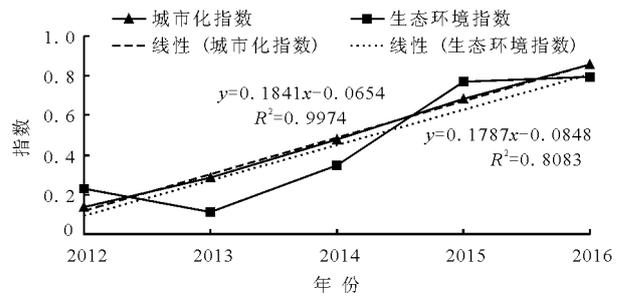


图 3 2012-2016 年江淮生态大走廊平均城市化与生态环境指数变化

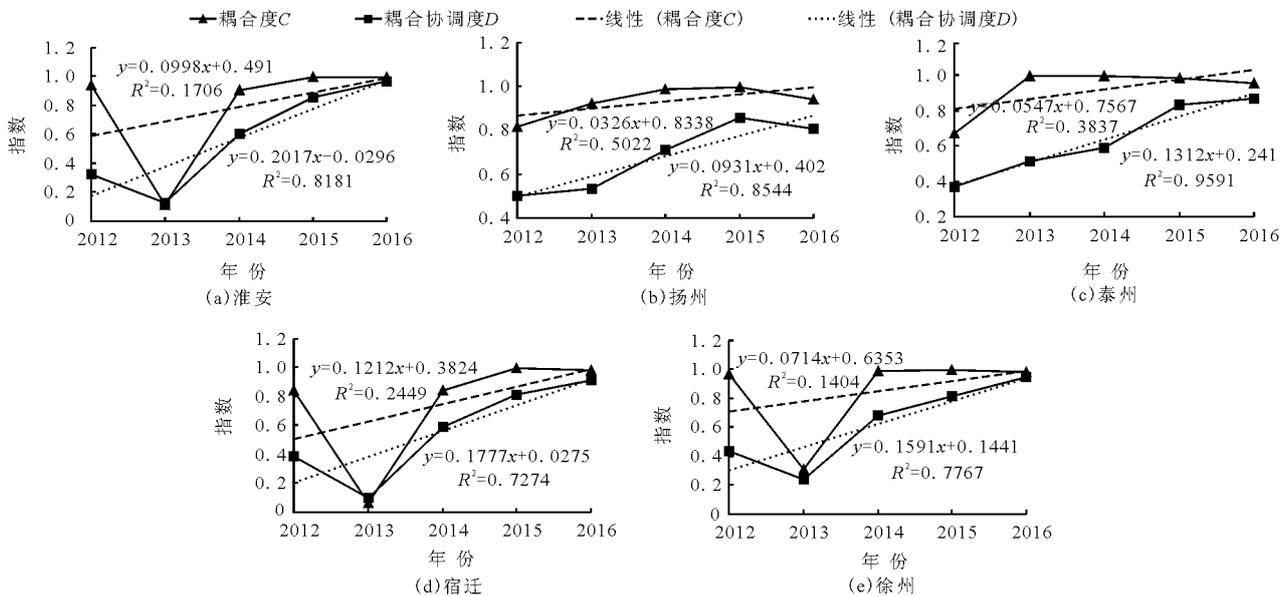


图 4 2012-2016 年江淮生态大走廊各市的耦合度与协调度变化过程

5.1.1 波动型耦合关系 波动型耦合关系的淮安、宿迁和徐州 3 市中,耦合度与协调度都表现为明显的 2013 年低值时期,淮安、宿迁和徐州的耦合度分别为 0.1274、0.0666 和 0.3108,都属于低水平耦合类型,协调度则分别为 0.1274、0.1005 和 0.2368,属于低协调阶段;而其余年份,3 市耦合度与协调度指数都较高。可见,在城市化过程中,这 3 个地区尽管生态环境压力偏大,但仍具有较好的容量。

5.1.2 平稳型耦合关系 扬州与泰州两市的耦合

度与协调度变化趋势与过程波动较小,更为平稳(图 4),且同步性较好,属于平稳型的耦合关系。近 5 年间,扬州与泰州两市耦合度始终较高,扬州市始终处于高水平耦合阶段,泰州仅在 2012 年耦合度为磨合阶段,其余皆为高水平耦合。

而在耦合协调度上,扬州与泰州两市的变化过程为总体稳步增加(图 4),其中 2012、2013 年为高协调阶段,2014 年以后,皆属于良好的极协调发展阶段。

### 5.2 江淮生态大走廊平均的耦合关系

从江淮生态大走廊耦合关系的平均状况上看(图5),耦合度与协调度均呈线性增加过程,10 a 线性增长率分别为 0.733 和 1.567,除 2013 年为颀颀阶段外,其余年份均为高水平耦合阶段,总体为趋向高水平耦合的发展趋势。

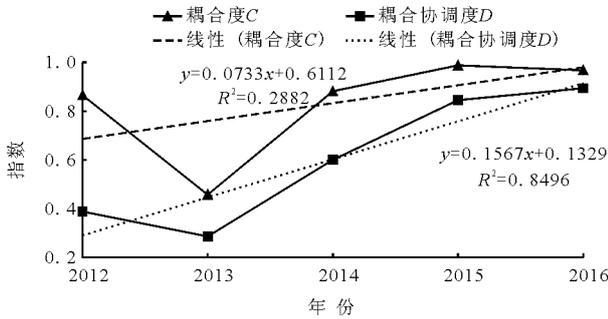


图5 2012 - 2016 年江淮生态大走廊平均耦合度与协调度变化过程

在耦合协调度上,江淮生态大走廊地区平均的协调度总体不高,2012 - 2014 年为失调协调发展类型,其中 2013 年是协调度最低的年份,仅为 0.2859。进一步还可发现,2013 年是耦合度与协调度均最低的年份,表现为颀颀阶段的中度失调衰退类发展。这一特征与前述淮安、宿迁和徐州 3 市在 2013 年耦合度值明显偏低的综合影响有关。但到 2015、2016 年,江淮生态大走廊城市化与生态环境均转变为高协调发展的耦合类型。

## 6 城市化与生态环境耦合关系的影响因素

### 6.1 耦合关系的城市化影响因素

采用灰色关联方法,获得耦合度 C 和耦合协调度 D 分别与城市化指标的灰色关联矩阵(表 4)。

表 4 江淮生态大走廊耦合度、协调度与城市化指标的灰色关联系数矩阵

关联矩阵	人口(常住人口)	城镇人口占总人口比重	人均地区生产总值	人均工业总产值	万人拥有医院床位数	万人拥有医生数	人均邮电业务量	人均用电量	人均建成区面积	人均公路里程	建成区绿化覆盖率
耦合度 C	0.2984	0.2921	0.2996	0.2566	0.2846	0.2661	0.2258	0.3171	0.2953	0.168	0.3101
协调度 D	0.4751	0.4399	0.4715	0.3953	0.4742	0.3972	0.4252	0.3844	0.4839	0.2555	0.4584

从耦合度 C 与城市化指标体系的灰色关联度(表 4)可以看出,人均用电量、建成区绿化覆盖率、人均地区生产总值、人口(常住人口)、城镇人口占总人口比重为位列前 5 位的指标,表明这些指标对耦合度影响程度偏大。人均用电量是表征社会城市化的重要指标,建成区绿化覆盖率反映了空间城市化指标,人均地区生产总值是经济城市化的指标,而人口(常住人口)与城镇人口占总人口比重属于人口城市化的指标,可见,城市化与生态环境的耦合度受城市化不同结构体系及指标的综合影响。

而在城市化指标对协调度 D 的影响上(表 4),人均建成区面积、万人拥有医院床位数、人均地区生产总值、城镇人口占总人口比重和建成区绿化覆盖率是位列前 5 位的指标,也涵盖不同结构城市化的核心影响要素。特别是人均建成区面积、人口(常

住人口)以及建成区绿化覆盖率 3 个因素,突出地反映了空间城市化与人口城市化对协调度的影响。

可以发现,在城市化与生态环境耦合关系上,不同城市化结构的要素对耦合协调度的变化起着系统而综合性的影响,应当系统考虑城市化中人口、经济、社会、空间城市化的综合发展,尤其应当注重空间城市化、社会城市化指标对生态环境所造成的可能影响和压力胁迫。

### 6.2 耦合关系的生态环境影响因素

耦合度 C 与生态环境指标的灰色关联度见表 5。由表 5 可以看出,人均水资源量是最为突出的因素,其次为人均 SO<sub>2</sub> 和人均氨氮的排放量。人均水资源量为正向指标,有利于提升城市化与生态环境的耦合度,而人均 SO<sub>2</sub> 和人均氨氮的排放则不利于耦合度。

表 5 江淮生态大走廊耦合度、协调度与生态环境指标的灰色关联系数矩阵

关联矩阵	人均水资源量	人均工业废水排放量	人均 SO <sub>2</sub> 排放量	人均 COD 排放量	人均氨氮排放量	人均氮氧化物排放量
耦合度 C	0.4792	0.2417	0.3376	0.2946	0.339	0.2864
协调度 D	0.5422	0.1967	0.2092	0.2456	0.1995	0.181

协调度  $D$  与耦合度  $C$  类似但又有所区别,协调度与生态环境指标的关联度上(表5),人均水资源量也同样是最为重要的因素,其次则为人均  $\text{SO}_2$  和人均 COD 的排放量,也反映了区域水环境和大气环境的压力。因此,从耦合度、协调度与生态环境系统指标关联度综合来看,水环境与大气环境是直接决定耦合度及协调度发展质量高低的重要因素。

## 7 结 论

运用耦合度与协调模型和灰色关联分析方法,探讨了江淮生态大走廊地区城市化与生态环境耦合关系,主要结论如下:

(1)2012 - 2016 年间,江淮生态大走廊城市化指数和生态环境指数总体上呈线性增加过程,且增长幅度较大。5 个地市城市化指数的变化过程高度类似,但生态环境指数变化过程有一定差异,但二者总体同步性特征较好。

(2)江淮生态大走廊 5 个地市城市化与生态环境耦合关系可以划分为两类,其一为波动型耦合关系,包括淮安、宿迁和徐州 3 市;其二为平稳型耦合关系,包括扬州、泰州两市。

(3)城市化与生态环境耦合度与协调度均呈线性增加过程,除 2013 年为颀颀阶段外,其余年份均为高水平耦合。2012 和 2013 年为中、低协调发展阶段,2014 - 2016 年为高协调或极协调发展阶段。其中,2012 年与 2015 年为环境滞后类型,2013、2014 和 2016 年为城市化滞后类型。

(4)城市化在空间城市化、社会城市化和人口城市化方面的不同结构指标是影响耦合关系的主要因素,而水环境和大气环境是影响耦合关系的主要生态环境因素,包括人均水资源量、人均  $\text{SO}_2$  排放量、人均氨氮排放量和人均 COD 排放量等。

### 参考文献:

[1] 方创琳,鲍超,乔标. 城市化过程与城市生态环境效应 [M]. 北京:科学出版社,2008.  
[2] 邓鹏,陈菁,陈丹,等. 区域水 - 能源 - 粮食耦合协调演化特征研究——以江苏省为例[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(6):232 - 238.

[3] 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.  
[4] 张荣天,焦华富. 中国省际城镇化与生态环境的耦合协调与优化探讨[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(7):12 - 17.  
[5] 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.  
[6] 刘耀彬,宋学锋. 城市化与生态环境耦合模式及判别[J]. 地理科学,2005,25(4):408 - 414.  
[7] 王飞,李景保,陈晓,等. 皖江城市带城市化与水资源环境耦合的时空变异分析[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(1):1 - 6.  
[8] 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.  
[9] FANG Chuanglin, WANG Jing. A theoretical analysis of interactive coercing effects between urbanization and eco-environment [J]. Chinese Geographical Science, 2013, 23(2): 147 - 162.  
[10] 陈晓红,万鲁河,周嘉. 城市化与生态环境协调发展的调控机制研究[J]. 经济地理,2011,31(3):489 - 492.  
[11] 夏伟,周维博,李文溢,等. 水资源效益与城乡供水一体化发展耦合效应分析——以洛川县为例[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(3):39 - 44.  
[12] 杨清可,段学军,李平星,等. 江苏省土地开发度与利用效益的空间特征及协调分析[J]. 地理科学,2017,37(11):1696 - 1704.  
[13] 黄木易,程志光. 区域城市化与社会经济耦合协调发展度的时空特征分析:以安徽省为例[J]. 经济地理,2012,32(2):77 - 81.  
[14] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理,1999,19(2):76 - 82.  
[15] 张家其,吴宜进,葛咏,等. 基于灰色关联模型的贫困地区生态安全综合评价——以恩施贫困地区为例[J]. 地理研究,2014,33(8):1457 - 1466.  
[16] 王宾,杨琛,李群. 基于熵权扰动属性模型的新型城镇化质量研究[J]. 系统工程理论与实践,2017,37(12):3137 - 3145.  
[17] 杜挺,谢贤健,梁海艳,等. 基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析[J]. 经济地理,2014,34(6):40 - 47.