

中国国土资源经济
Natural Resource Economics of China
ISSN 1672-6995, CN 11-5172/F

《中国国土资源经济》网络首发论文

题目: 长江中游城市群三生功能分异性研究——基于地理探测器模型
作者: 王芳, 张俊峰
DOI: 10.19676/j.cnki.1672-6995.000527
收稿日期: 2020-07-22
网络首发日期: 2020-09-22
引用格式: 王芳, 张俊峰. 长江中游城市群三生功能分异性研究——基于地理探测器模型. 中国国土资源经济. <https://doi.org/10.19676/j.cnki.1672-6995.000527>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

长江中游城市群三生功能分异性研究¹

——基于地理探测器模型

王芳¹，张俊峰²

(1. 中南财经政法大学工商管理学院，湖北 武汉 430073；2. 中南财经政法大学公共管理学院，湖北 武汉 430073)

摘要：面对快速城镇化带来的资源环境压力，促进三生功能均衡协调发展、优化国土空间布局成为经济可持续发展的重要课题。文章利用国土空间三生指标评价体系测度长江中游城市群 31 个城市 2014 年和 2017 年的三生功能值，探讨三生功能时空分异特征，并用**地理探测器模型分别研究三生功能空间分异的驱动因素及其动态变化**，得出如下结论：①长江中游城市群三生功能具有明显的空间分异特征，生产功能高值区呈现出由点状分布向集群分布的发展趋势；生活功能高值区南移；生态功能值分布呈现出南高北低的空间特征，但南北差距在缩小。②研究期内，影响生产功能分异的主导因素由经济总量指标变为对外贸易指标；影响生活功能分异的主导因素由宏观经济质量指标转化为微观生活质量指标；自然因素对生态分异的影响作用在减弱。③任何两种因素对三生功能空间分布的交互作用都要大于一种因素的单独作用；有些自身对分异没有显著影响的因子，在交互作用之后影响力显著增强。

关键词：城市群；国土空间；三生功能；空间分异；影响因素

中图分类号：F062.1；F205；**文献标识码：**A

DOI：10.19676/j.cnki.1672-6995.000527

A Study on the Differentiation of the Production-living-ecological Function of the Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River

—Based on the Geo-detector Model

WANG Fang¹, ZHANG Junfeng²

¹收稿日期：2020-07-22；修回日期：2020-09-04

基金项目：国家自然科学基金项目“土地资源禀赋空间异质、资源错配与效率改进：以武汉城市圈为例”(71603288)；教育部人文社科研究项目“土地资源空间异质性、作用机制及差别化土地政策研究：以武汉城市圈为例”(16YJC790133)

作者简介：王芳(1995—)，女，湖北省十堰市房县人，中南财经政法大学工商管理学院土地资源管理专业硕士研究生，研究方向为土地资源经济与管理。

通讯作者：张俊峰(1988—)，河南省淮滨人，中南财经政法大学公共管理学院讲师，主要研究方向为土地资源经济、土地利用与管理。E-mail:13476284344@126.com

(1. School of Business Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan Hubei 430073, China; 2. School of Public Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan Hubei 430073, China)

Abstract: Facing on the pressure of resources and environment brought by rapid urbanization, promoting the balanced and coordinated development of the production-living-ecological function, and optimizing the layout of the territorial space have become important issues for the economic sustainable development. This article uses the production-living-ecological index evaluation system of territorial space to measure the production-living-ecological function values of 31 cities of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River in 2014 and 2017, also, this article discusses the characteristics of the spatial and temporal differentiation of the production-living-ecological functions, and uses the geo-detector model to study the the driving factors and dynamic changes of spatial differentiation of the production-living-ecological functions, the results show that: ① the production-living-ecological function of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River had obvious spatial differentiation characteristics, and the high-value areas of production functions showed a development trend from dotted distribution to cluster distribution; the high-value areas of living functions moved to the south; the distribution of ecological function value presented a spatial characteristic of high in the south and low in the north, but the gap between the north and the south was narrowing. ② During the study period, the dominant factor affecting the differentiation of production functions changed from economic aggregate indicators to foreign trade indicators; the dominant factors affecting the differentiation of living functions were transformed from macroeconomic quality indicators to micro life quality indicators; the influence of natural factors on ecological differentiation was weakening. ③ The interaction of any two factors on the spatial distribution of the production-living-ecological function was greater than the single effect of one factor; some factors which had no significant effect on differentiation, however, after the interaction, the influence was significantly enhance. .

Key words: urban agglomeration; territorial space; production-living-ecological function; spatial differentiation; influencing factors

0 引言

随着城市化进程的加快,城市规模迅速扩张,土地利用引发的资源冲突变得越来越严峻,社会经济可持续发展面临重大挑战^[1-2]。为缓解日益恶化的资源环境压力,党的十八大报告提出要“促进生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”,并将优化国土空间开发格局作为生

态文明建设的首要举措。“生产-生活-生态”功能是从可持续发展视角对国土空间功能的重新划分，弥补了以前“国土功能分类体系着眼于生产和生活功能，对生态特性考虑不够”^[3-4]的缺点，对提高资源利用效率、优化国土空间研究具有重要意义。国外学术界虽然没有明确提出三生功能的概念，但对土地多功能的研究比国内起步早。研究内容集中在土地多功能概念阐释^[5-7]、持续性发展评估^[8-9]、土地利用多功能变化的影响^[10]和土地利用多功能方向预测^[11]等方面。国内对三生功能的研究具有明显的问题导向性，研究内容可以概括为两大部分：一是基于三生功能的土地多功能研究，主要是土地利用多功能评价^[12-15]、土地利用功能演变^[16-20]、分区^[21]研究、土地利用多功能时空差异及影响因素研究^[22-29]；二是基于三生功能的国土空间研究，研究内容集中在三生功能分类体系^[30-31]、三生空间识别^[32-33]、三生功能时空关系、国土空间优化^[34]等领域。而对三生功能时空关系的研究则大多是在三生功能评价的基础上对特定区域三生功能时空格局、耦合协调性及其演化特征的研究^[35-37]。也有学者对土地利用多功能空间分异的影响因素进行研究^[26, 28]，但侧重于土地自身的功能，且研究影响因素动态变化的文章较少；在影响因素的研究视角上，都是对土地多功能分异的影响因素进行统一分析，还没有学者研究单个功能分异的影响因素。

基于此，本文对2014年和2017年长江中游城市群31个城市国土空间的三生功能进行评价，探讨三生功能的时空分异及其变化特征，构建三生功能空间分异影响因素的指标体系，**用地理探测器模型分别研究生产、生活、生态功能空间分异的影响因素及其动态变化**。本文在一定程度上拓宽了三生功能时空关系研究的范围，丰富了三生功能空间分异研究的内容，对促进城市群内部三生功能均衡协调发展、优化国土空间布局具有一定参考价值。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

长江中游城市群是以武汉城市圈、环长株潭城市群、环鄱阳湖城市群为主体形成的特大城市群（图1）。长江中游城市群土地面积为32.6万km²，占全国总面积的3.4%，是中国最大的城市群；常住人口约1.3亿人，占全国总人口的9%；2018年经济总量8.3万亿元，占全国经济总量的9.2%。长江中游城市群是长江经济带发展战略重点打造的三大增长极之一，在全国国土空间发展格局中具有重要的战略地位。



图 1 长江中游城市群区位图

1.2 数据来源

本文以长江中游城市群的 31 个城市为研究单元。考虑到研究目的和数据可获取性，选取 2014 年和 2017 年为时间截面。所涉及的统计数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《湖北省统计年鉴》《湖南省统计年鉴》《江西省统计年鉴》以及各城市相应年份统计年鉴，其他缺失数据由各市国民经济社会发展公报整理补充。

2 研究方法

2.1 三生功能评价指标体系

三生功能测度模型的构建合理与否，直接关系到三生功能格局刻画的科学性和合理性^[28]。目前学术界还没有形成一个成熟的、被广泛接受的三生功能测度模型。在已有的三生功能研究中，多位学者基于自身需求构建了三生功能评价体系^[34, 36, 38-42]。徐磊等^[43]在分析城市群国土空间结构与功能要素关系的基础上，筛选出三生功能评价的 36 项指标，建立了多层次的三生功能评价指标体系。该体系具有综合性强、功能突出的优点，本文选取这一评价指标体系对长江中游城市群的三生功能进行

测度，具体指标构成及权重见表 1。

表 1 长江中游城市群“三生”功能评价指标体系

目标层	准则层	指标层（单位）（权重）
生产功能	农业生产	农林牧渔业产值（亿元）（0.05）、粮食供需比（无量纲）（0.02）、人均肉类产量（kg/人）（0.02）
	非农业生产	工业增加值（亿元）（0.07）、规模以上企业利润总额（亿元）（0.05）、房屋建筑竣工面积（万m ² ）（0.1）、国内旅游总收入（亿元）（0.06）、邮政业务收入（亿元）（0.14）
	发展水平	全社会固定资产投资（亿元）（0.07）、财政贡献率（亿元）（0.08）、经济密度（万元/km ² ）（0.08）、产业结构（无量纲）（0.02）、进出口贸易总额（亿美元）（0.11）、当年使用外资金额（亿美元）（0.13）
生活功能	生活水平	人口城镇化率（%）（0.09）、人均 GDP（元/人）（0.11）、人均道路面积（m ² /人）（0.05）、人均社会消费品零售总额（元/人）（0.09）
	社会保障	在岗职工平均工资（元）（0.04）、人均年末居民储蓄存款余额（万元/人）（0.09）、城乡收入比（无量纲）（0.04）、城镇职工养老保险参保比（%）（0.10）、教育支出比（%）（0.06）
	人居服务	互联网普及率（%）（0.07）、人均居住用地面积（m ² /人）（0.04）、万人拥有卫生机构床位数（张/万）（0.04）、人均公园绿地面积（m ² /人）（0.1）、绿化覆盖率（%）（0.05）
生态功能	承载功能	地均工业废水排放量（t/m ² ）（0.11）、地均工业 SO ₂ 排放量（t/m ² ）（0.11）、地均化肥使用量（t/km ² ）（0.07）
	净化功能	污水处理厂集中处理率（%）（0.12）、一般工业固体废弃物综合利用率（%）（0.08）、生活垃圾无害化处理率（%）（0.06）
	维持功能	森林覆盖率（%）（0.24）、建成区绿地率（%）（0.21）

为消除各指标值在量纲、数量级及属性上的差异，需要对指标进行标准化处理。指标体系中既存在正向指标又存在负向指标，且分析数据为截面数据，所以采用非零变换的标准化方法。计算公式如下：

$$\text{对于正向指标, } y_{ij} = \{ (x_{ij} - \min x_j) / (\max x_j - x_{ij}) \} \times 0.99 + 0.01 \quad (1)$$

$$\text{对于负向指标, } y_{ij} = \{ (\max x_j - x_{ij}) / (\max x_j - x_{ij}) \} \times 0.99 + 0.01 \quad (2)$$

式（1）、式（2）中： $\max x_j$ ， $\min x_j$ 为指标原始值最大值和最小值， y_{ij} 为指标标准化值。

2.2 地理探测器模型

空间分异性是指某一属性值在不同的区域存在差异的一种现象。地理探测器是度量空间分异性、揭示其背后驱动因子、分析变量间交互关系的一种新的统计学方法，具有无线性假设、操作简便等优点，被广泛应用于自然和社会科学领域。

2.2.1 因子探测

因子探测主要用于识别造成空间分异性的驱动因子，公式如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (3)$$

式（3）中：q 为影响因素对三生功能的影响力探测指标；h=1, ..., L 为变量 Y 或因子 X 的分层； N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数； σ_h^2 和 σ^2 分别是层 h 和全区的 Y 值的方差。q 的取值区间为 [0, 1]，q 值越大表明因子对三生功能空间分异的影响越大。

2.2.2 交互探测

交互探测可以定量表征两个影响因子对三生功能空间格局的作用关系，例如对于影响三生功能空间格局的 A 和 B 因子，通过空间叠加 A 和 B 形成新图层 C。通过比较 A、B 图层和 C 图层的因子影响力，可以判断两因子交互后对三生功能格局的影响相对于单个因子是强化还是弱化^[44]。交互探测结果判断规则如下：若 $P(A \cap B) < \min(P(A), P(B))$ ，则因子 A 和 B 交互后影响作用非线性减弱；若 $\min(P(A), P(B)) < P(A \cap B) < \max(P(A), P(B))$ ，则 A 和 B 交互后影响作用单线性减弱；若 $P(A \cap B) > \max(P(A), P(B))$ 且 $P(A \cap B) < P(A) + P(B)$ ，则 A 和 B 交互后影响作用双因子增强；若 $P(A \cap B) > P(A) + P(B)$ ，则 A 和 B 交互后影响作用非线性增强；若 $P(A \cap B) = P(A) + P(B)$ ，则 A 和 B 相互独立。

3 三生功能时空分异特征分析

根据三生功能评价指标体系计算 2014 年、2017 年长江中游城市群各城市的土地三生功能值，再利用 Arcgis 的空间分析功能，将三生功能值分别在研究区域内符号化显示，结果表明，2014 年和 2017 年长江中游城市群的生产、生活、生态功能都存在明显的空间分异（图 2）。

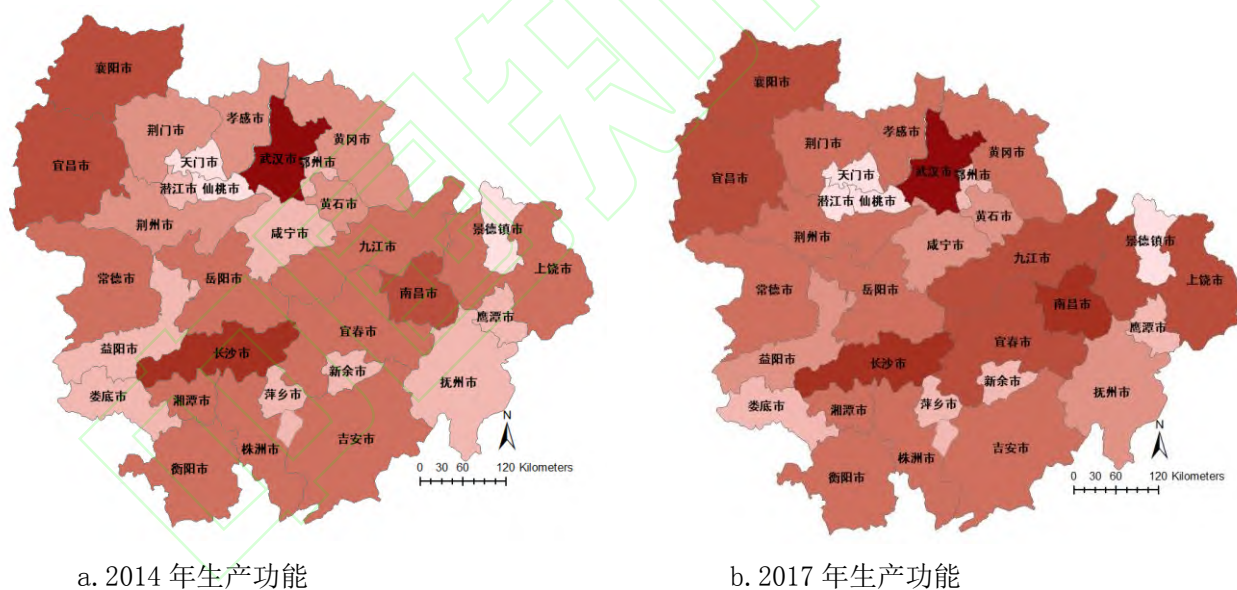
3.1 生产功能时空分异

图 2a、图 2b 表明，2014 年生产功能指数最高的城市是武汉市，其次是长沙市和南昌市，生产功能值由这三个城市向外梯度递减，总体上呈现出“武汉—长沙—南昌”的三中心结构，但南昌市在三中心结构中仍处于明显的弱中心地位。2017 年，南昌市生产功能值明显增大，与其他两大城市的差距缩小。环鄱阳湖城市群一直注重集群化发展，南昌市在自身发展的同时，通过城市间的资源共享，带动了周围城市的快速发展。同时，武汉市和长沙市周围城市的生产功能值都有明显提高，且与中心城市的差距缩小。总的来看，长江中游城市群生产功能扩散更加均匀，生产功能高值区呈现由点状分布向集群分布的发展趋势，但集群特征仍不十分明显。主要原因是，对个别城市的强依赖导致城市群发展过程中经济实力的过度集中。

3.2 生活功能时空分异

图 2c、图 2d 表明, 2014 年生活功能指数值排名前两位的城市是武汉市和长沙市, 此外, 南昌市和宜昌市的指数也较大。2017 年, 武汉市生活功能值降低, 长沙市成为生活功能值最高的城市。同时, 武汉市周围的鄂州市、黄冈市、天门市、荆州市以及 2014 年功能值较高的襄阳市、荆门市的生活功能值都有所降低, 而环鄱阳湖城市群中各城市的生活功能值普遍提高。究其原因, 可能是武汉市在快速发展过程中出现了环境、交通、物价问题, 造成生活宜居度下降; 而环鄱阳湖城市群地处鄱阳湖生态区, 近年来在南昌市的带动下经济实力也明显增强, 宜居指数较高。虽然长沙市和武汉市依然是生活功能值最高的两个城市, 但环鄱阳湖城市群生活功能平均值更高, 武汉城市圈的生活功能优势明显减弱, 生活功能高值区南移。武汉城市圈内那些本身经济不发达, 又要承担中心城市经济发展资源环境副作用的中小城市就成为生活功能值最低的区域, 这些城市集中分布在武汉城市圈的南部。

3.3 生态功能时空分异



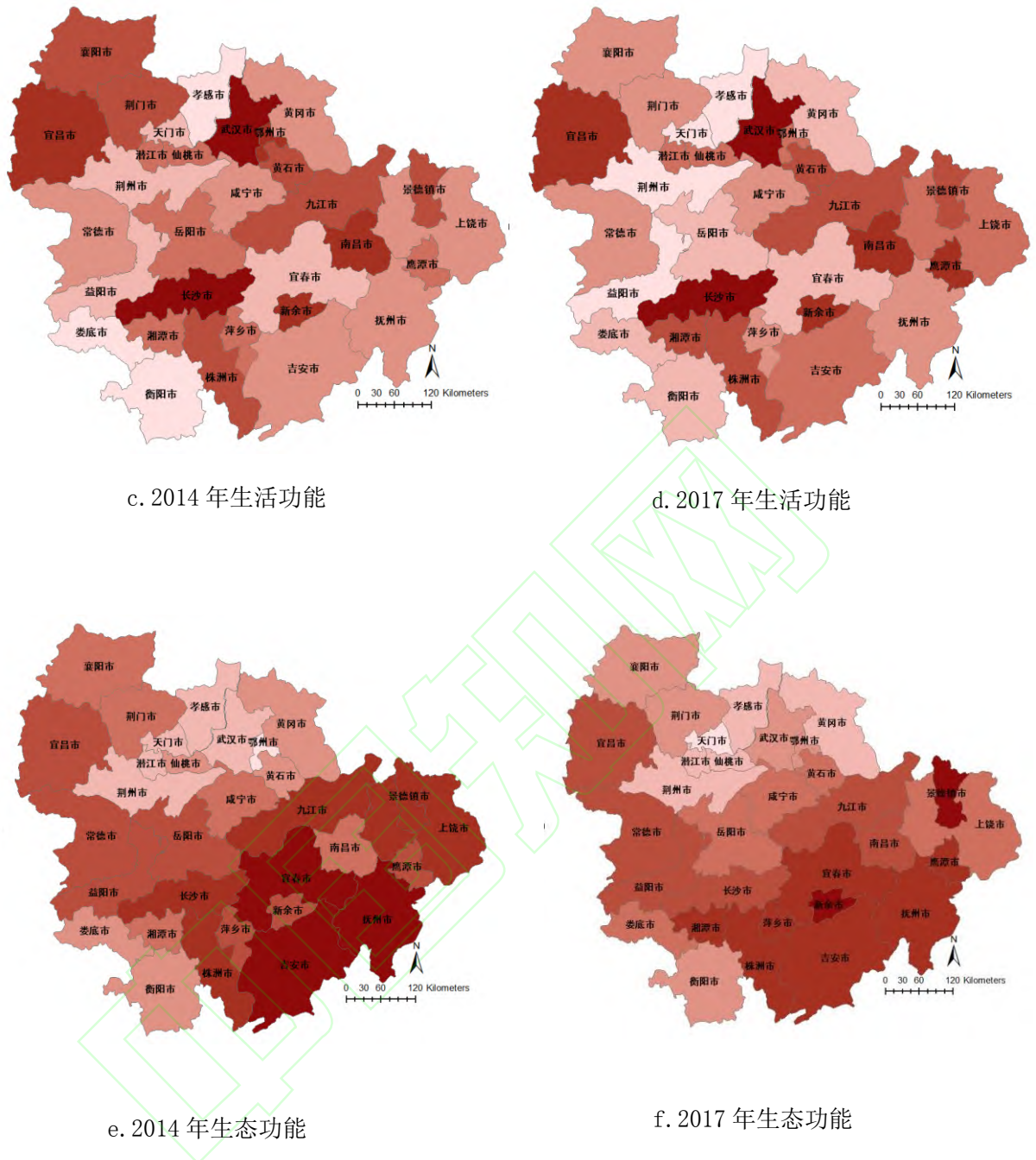


图 2 2014 年、2017 年长江中游城市群三生功能空间分异图

图 2e、图 2f 表明，2014 年生态功能高值区集中分布在长江中游城市群东南部，环鄱阳湖城市群南部最高。在武汉城市圈内，除宜昌市外，各城市的生态功能值普遍很低。2017 年，武汉市、鄂州市、黄石市的生态功能值上升，而环鄱阳湖城市群和环长株潭城市群内城市的生态功能值普遍下降，环鄱阳湖城市群下降幅度最大。一方面，武汉城市圈是“两型社会”建设综合配套改革试验区，肩负着探索资源节约、环境友好发展道路的历史使命。近年来，武汉城市圈制定的一系列政策措施转变经济增长方式，提高生态绿化水平，在 2017 年已经初见成效；另一方面，环鄱阳湖城市群虽然

生态资源丰富，但经济资源相对匮乏，经济发展还停留在较为粗放的增长阶段，经济实力的快速增强在一定程度上破坏了生态资源，导致地区生态功能下降。总的来看，2017 年生态功能值分布仍呈现出南高北低的特征，但南北之间的差距缩小，环鄱阳湖城市群的生态功能优势明显减弱。

4 三生功能空间分异影响因素分析

4.1 影响因素评价指标体系构建

根据长江中游城市群的自然条件和经济发展现状，结合三生功能评价体系，构建三生功能分异影响因素指标体系（表 2）。年均温度、年均降水量、与中心城市距离对三生功能分异都可能产生影响，因此将这三项指标分别添加在生产、生活、生态功能分异影响因素的评价体系中。

表 2 三生功能空间分异性影响因子评价指标体系

功能类别	主要指标	指标解释
生产功能	年均气温/（℃）	数据来源于各地气象局网站
	年均降水量/mm	数据来源于统计年鉴和各地气象局网站
	与中心城市距离/km	取各个城市到武汉市、长沙市、南昌市三个中心城市中最近城市的距离，
		数据来源于高德地图
	地区生产总值/亿元	统计年鉴数据
	第二产业占 GDP 的比重/%	第二产业产值/地区生产总值
	科技支出占比/%	科学技术支出/地方一般公共预算支出
	当年实际使用外资金额/亿美元	统计年鉴数据
生活功能	地均固定资产投资/（万元·km ⁻² ）	全社会固定资产投资/行政区划土地面积
	年均气温/（℃）	—
	年均降水量/mm	—
	与中心城市距离/km	—
	人口密度/（人·km ⁻² ）	统计年鉴数据
	人均 GDP/（元/人）	统计年鉴数据
	城镇居民人均可支配收入（元/人）	统计年鉴数据
	道路面积率/%	统计年鉴数据
生态功能	年均气温/（℃）	—
	年均降水量/mm	—
	与中心城市距离/km	—
	森林覆盖率/%	地区国民经济与社会发展公报数据
	城市工业烟(粉)尘排放量/吨	统计年鉴数据
	一般工业固体废物综合利用率/%	统计年鉴数据

4.2 影响因素及其动态变化

用离散化方法将 2014 年和 2017 年的指标数据分为 5 个级别，导入地理探测器，因子探测结果见表 3。参考探测结果，在 $p < 0.1$ 结果可信的情况下，根据 q 值的大小将探测因子的影响力大小划分为 4 个级别： $q > 0.8$ 时，因子影响力很强； $0.6 < q < 0.8$ 时，因子影响力较强； $0.4 < q < 0.6$ 时，因子

影响力较弱； $q < 0.4$ 时，因子无明显影响。

4.2.1 生产功能

2014 年，地区生产总值的 q 值最大 ($q=0.9144$)，是决定生产功能空间分异格局的主导因素。当年实际使用外资金额和地均固定资产投资的 q 值都大于 0.6，是影响生产功能空间分异的主要因素。与中心城市距离的 q 值为 0.5033，也对生产功能空间分异起到一定作用。科技支出占比未通过显著性水平检验，不是生产功能分异的主要影响因素。第二产业占 GDP 比重对分异没有明显影响，原因是长江中游城市群各城市第二产业比重都较高，产业结构差别不大，单因子作用不足以影响空间分异。自然因素年均气温和年均降水量对生产功能分异的影响也不明显，因为长江中游城市群降水量充足，各城市间年均气温差别不大，且农林业在产业结构中占比较小。2017 年，地区生产总值仍然是影响生产功能分异的主要因素，但决定力有所减弱。而当年使用外资金额 ($q=0.9042$) 变为最主要的影响因素，同时，科技支出占比的 q 值增长到 0.7175，也成为生产功能分异的主要影响因素。地均固定资产投资 ($q=0.7789$) 仍然对分异有重要影响，与中心城市距离也有一定的影响作用。

影响生产功能分异的主导因子由经济总量指标变为对外贸易指标，说明长江中游城市群城市间的外商投资差异逐渐显化。同时，区位因素对生产功能分异的影响作用减小，分异主要由城市内外投资和利用水平决定。科技支出占比由非显著因素上升为主要影响因素，说明在研究时间区间内，工业技术结构发生了变革，高新产业对城市生产功能发挥的作用越来越明显，但这种变革还局限在工业内部，整体产业结构未发生实质性变化。

4.2.2 生活功能

2014 年，人均 GDP 是长江中游城市群生活功能分异的决定性因素 ($q=0.8684$)。城镇居民人均可支配收入未通过显著性检验，对生活功能分异的影响作用不显著。年均气温、年均降水量、与中心城市距离、人口密度、道路面积率对分异都没有明显影响。

2017 年，人均 GDP 的 q 值降低，且对生活功能分异的影响不再显著。而城镇居民人均可支配收入的 q 值增大到 0.7251，成为生活功能分异的决定性因素。同时与中心城市距离的 q 值上升，对分异的解释作用增强。

影响生活功能分异的主导因素由宏观经济质量指标转化为微观生活质量指标，人们的自身活动及对资金的自由支配能力对生活功能的影响增强。同时区位因素“与中心城市距离”对生活功能分异的影响明显增强，说明大城市的对外辐射作用对周围城市生活功能的发挥产生了更加重要的作用。

4.2.3 生态功能

2014 年，生态功能分异因子中森林覆盖率 ($q=0.8086$) 是决定性因素，而年均降水量 ($q=0.6338$) 影响力也较强。年均温度对生态功能分异的影响不显著，长江中游城市群的年均温度较为平均，不

会对生态维持功能造成威胁，而对净化功能的影响通常在与其他因子交互时显现。与中心城市距离对生态功能分异的影响也不明显，主要是因为中心城市的绿化建设都比较完善，在城市内部人造绿地可以承担一定的生态维持净化功能。此外，长江中游城市群一般工业固体废物综合利用率差别不大，未对生态功能空间分异产生明显影响。

2017 年，两大自然因素森林覆盖率和年均降水量依然是影响生态功能空间分异的主要因素，但解释能力有所减弱（前者 $q=0.6338$ ，后者 $q=0.5242$ ）。城市工业烟粉尘排放量的 q 值增大到 0.5468，虽未通过显著性检验，但可以看出对生态分异的影响作用在增强。

表 3 三生功能空间分异性因子探测结果表

探测因子	2014 年		2017 年		
	q 值	p 值	q 值	p 值	
生产功能	年均气温	0.2634	0.3283	0.3618	0.3318
	年均降水量	0.1509	0.4654	0.0464	0.8690
	与中心城市距离	0.5033	0.0151	0.4565	0.0294
	地区生产总值	0.9144	0.000	0.8403	0.000
	第二产业占 GDP 的比重	0.2236	0.3117	0.1785	0.4732
	科技支出占比	0.4662	0.1484	0.7175	0.0318
	当年实际使用外资金额	0.6462	0.0998	0.9042	0.000
	地均固定资产投资	0.7642	0.0064	0.7789	0.0127
生活功能	年均气温	0.1434	0.7896	0.2238	0.8822
	年均降水量	0.0735	0.8494	0.0349	0.9381
	与中心城市距离	0.3790	0.1637	0.5112	0.0340
	人口密度	0.1430	0.6493	0.0924	0.7313
	人均 GDP	0.8684	0.000	0.5380	0.2777
	城镇居民人均可支配收入	0.5475	0.6726	0.7251	0.0549
	道路面积率	0.1723	0.5686	0.0796	0.8790
	年均气温	0.3089	0.4295	0.4248	0.1397
生态功能	年均降水量	0.6338	0.000	0.5242	0.0108
	与中心城市距离	0.1205	0.9093	0.0584	0.9487
	森林覆盖率	0.8086	0.000	0.5664	0.0091
	城市工业烟(粉)尘排放量	0.1297	0.9911	0.5468	0.4259
	一般工业固体废物综合利用率	0.2279	0.9977	0.0621	0.9959

4.3 影响因素交互作用

因子交互后的影响作用都表现为非线性增强或双因子增强，表明任何两种因子对三生功能空间分异的交互作用都大于一种因子的单独作用。有些自身对三生功能空间分异没有显著影响的因子，在交互作用之后影响力明显增强。表 4 列出了这部分因子交互作用探测结果。

4.3.1 生产功能因子交互

年均气温和年均降水量对生产功能分异的影响作用不明显，但当两因子交互后， q 值达到 0.7371，

成为影响生产功能分异的主要交互因素。因为自然因素具有整体性，因素综合作用的发挥会显著增强单个因素对三生功能空间分异的影响作用。年均气温、年均降水量、与中心城市距离和第二产业占 GDP 比重交互后，对生产功能分异的解释力都大幅增强。这三个因素对生产功能的影响具有明显的结构特征，当产业结构变化时，因子作用空间增大，影响力增强。

表 4 三生功能空间分异性部分因子交互作用探测表

功能类别	2014 年		2017 年	
	探测因子	q 值	探测因子	q 值
生产功能	年均气温 $\cap$ 年均降水量	0.7371	年均气温 $\cap$ 年均降水量	0.4387
	年均气温 $\cap$ 第二产业占 GDP 比重	0.7722	年均气温 $\cap$ 第二产业占 GDP 比重	0.9273
	与中心城市距离 $\cap$ 第二产业占 GDP 比重	0.8703	年均降水量 $\cap$ 第二产业占 GDP 比重	0.8128
	年均气温 $\cap$ 与中心城市距离	0.6837	年均气温 $\cap$ 人口密度	0.5987
	年均气温 $\cap$ 人口密度	0.7015	年均气温 $\cap$ 人均 GDP	0.9063
生活功能	年均气温 $\cap$ 道路面积率	0.7021	年均气温 $\cap$ 道路面积率	0.7513
	年均降水量 $\cap$ 人口密度	0.5530	年均降水量 $\cap$ 人均 GDP	0.9078
	年均降水量 $\cap$ 道路面积率	0.5547	年均降水量 $\cap$ 道路面积率	0.6841
	与中心城市距离 $\cap$ 人口密度	0.6868	与中心城市距离 $\cap$ 人口密度	0.7454
	与中心城市距离 $\cap$ 道路面积率	0.6357	与中心城市距离 $\cap$ 道路面积率	0.7246
生态功能	年均气温 $\cap$ 城市工业烟(粉)尘排放量	0.5531	年均气温 $\cap$ 城市工业烟(粉)尘排放量	0.7640
	与中心城市距离 $\cap$ 城市工业烟(粉)尘排放量	0.7988	与中心城市距离 $\cap$ 城市工业烟(粉)尘排放量	0.7321

4.3.2 生活功能因子交互

在生活功能交互探测中，许多单因子对分异影响不显著的自然、区位、人口、经济因素在交互作用后影响力都大幅提升。这些因子本身都对生活功能有影响，且因子间具有一定的对立性，单独作用时彼此的影响作用可能相互抵消。但当因子交互之后，表现出的优势和劣势都更加明显，对生活功能空间分异的影响作用显著增强。

4.3.3 生态功能因子交互

年均气温和城市工业烟(粉)尘排放量交互之后对生态功能分异性的影响增强。因为气温的变化会影响绿色植物的光合作用从而影响城市生态净化功能，当城市工业烟(粉)尘排放量大，空气污染物多时，这种净化能力对城市生态功能的发挥就更加重要。与中心城市距离和城市工业烟(粉)尘排放量交互之后对生态功能分异性的影响也明显增强。因为城市内部绿地的净化能力有限，当距离中心城市近，工业烟(粉)尘排放量又多时，绿地的净化能力不足以应付，生态功能差异显现。

5 结论

①长江中游城市群三生功能具有明显的空间分异特征。生产功能总体上呈现出“武汉—长沙—南昌”的三中心结构，生产功能高值区呈现由点状分布向集群分布的发展趋势；2014—2017 年，武汉市周围城市的生活功能值普遍降低，而环鄱阳湖城市群中各城市的生活功能值普遍提高，生活功

能高值区南移；生态功能值分布呈现出南高北低的空间特征，但南北差距在缩小。

②2014 年地区生产总值是生产功能空间分异格局的决定性因素，2017 年当年使用外资金额成为决定性的影响因素。影响生产功能分异的主导因子由经济总量指标变为对外贸易指标；影响长江中游城市群生活功能分异的决定性因素由人均 GDP 变为城镇居民人均可支配收入，主导因素由宏观经济质量指标转化为微观生活质量指标；森林覆盖率是生态功能分异的决定性因素，而年均降水量对生态功能分异的影响作用也较强。

③因子交互作用探测结果表明：任何两种因子对三生功能空间分布的交互作用都要大于一种因子的单独作用；有些自身对分异没有显著影响的因子，在交互作用之后影响力大幅增强。

参考文献

- [1] 马学广, 王爱民, 闫小培. 城市空间重构进程中的土地利用冲突研究: 以广州市为例[J]. 人文地理, 2010, 25(3): 72-77.
- [2] 刘巧芹, 赵华甫, 吴克宁, 等. 基于用地竞争力的潜在土地利用冲突识别研究: 以北京大兴区为例[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1579-1589.
- [3] 梁留科, 曹新向, 孙淑英. 土地生态分类系统研究[J]. 水土保持学报, 2003(5): 142-146.
- [4] 岳健, 张雪梅. 关于我国土地利用分类问题的讨论[J]. 干旱区地理, 2003(1): 78-88.
- [5] SCHÖBER B, HELMING K, WIGGERING H. Assessing land use change impacts - a comparison of the sensor land use function approach with other frameworks[J]. J Land Use Sci, 2010, 5(2): 159-178.
- [6] VEREIJKEN P H. 2001. Multifunctionality: Applying the OECD framework, a review of literature in the Netherlands[R]. Paris, France: OECD: 27.
- [7] HUBERT WIGGERING, CLAUS DALCHOW, MICHAEL GLEMNITZ, et al. Indicators for multifunctional land use—linking socio-economic requirements with landscape potentials[J]. Ecol Indic, 2005, 6(1): 238-249.
- [8] ANON. Ex ante impact assessment of policies affecting land use, part a[J]. Ecology and Society, 2011, 16(1).
- [9] PYTRIK REIDSMA, HANNES KÖNIG, SHUYI FENG, et al. Methods and tools for integrated assessment of land use policies on sustainable development in developing countries[J]. Land use policy, 2010, 28(3): 604-617.
- [10] SCHÖBER B, HELMING K, WIGGERING H. Assessing land use change impacts - a comparison of

the sensor land use function approach with other frameworks[J]. J Land Use Sci, 2010, 5(2):159-178.

[11] VERBURG H P, STEEG V D J, VELDKAMP A, et al. From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization[J]. J Environ Manage, 2008, 90(3):1327-1335.

[12] 郑溢芳. 基于“三生”视角的长株潭城市群土地功能评价及优化研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2019.

[13] 戴媛媛, 朱翔, 贺清云, 等. 基于灰色关联投影模型的长沙市土地利用多功能性评价[J]. 科技和产业, 2020, 20(4):73-79.

[14] 王璐, 张合兵, 胡文智, 等. 基于“三生”视角的煤粮复合区土地利用功能评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3):301-306.

[15] 张蕾, 齐伟, 杜腾飞, 等. 基于熵权法的土地多功能利用评价: 以淄博市为例[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(3):31-36.

[16] 程梦林. 基于“三生”的山区土地利用转型及其生态环境效应研究[D]. 石家庄: 河北经贸大学, 2020.

[17] 秦方. 河南新郑市“三生”用地转型及其生态服务价值响应[J]. 人民长江, 2020, 51(2):58-63.

[18] 焦露, 薛哲进, 尹剑, 等. “三生空间”视角下喀斯特地区土地利用转型的生态环境效应: 以贵州省为例[J]. 生态经济, 2020, 36(4):206-212.

[19] 龚亚男, 韩书成, 时晓标, 等. 广东省“三生空间”用地转型的时空演变及其生态环境效应[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3):203-209.

[20] 王泽, 闫弘文, 刘晓燕, 等. 海阳市“三生”土地利用转型及管制对策研究[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(3):252-261.

[21] 葛翔. 基于“三生”功能视角的宜宾县土地利用分区研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017.

[22] 刘愿理, 廖和平, 李涛, 等. 山区土地利用多功能时空分异特征及影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(21):271-279.

[23] 梁建飞, 陈松林. 厦门市土地利用多功能性评价及障碍因子诊断[J]. 亚热带资源与环境学报, 2019, 14(1):87-95.

[24] 陈阳, 闵婕, 孔祥玉, 等. 重庆市土地利用多功能的空间差异分析[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(12):1461-1467.

[25] 王枫, 董玉祥. 广州市土地利用多功能的空间差异及影响因素分析[J]. 资源科

学, 2015, 37(11):2179-2192.

[26]刘愿理, 廖和平, 李靖, 等. 生态脆弱区土地利用多功能空间格局特征及影响因素分析[J]. 中国土地科学, 2020, 34(2):75-83.

[27]张利国. 库区土地利用多功能时空分异及综合分区研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2019.

[28]张一达, 刘学录, 范亚红, 等. 甘肃省土地利用多功能性空间差异及影响因素分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(3):544-552.

[29]王枫, 董玉祥. 基于灰色关联投影法的土地利用多功能动态评价及障碍因子诊断: 以广州市为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(10):1698-1713.

[30]张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. 资源科学, 2015, 37(7):1332-1338.

[31]席建超, 王首琨, 张瑞英. 旅游乡村聚落“生产-生活-生态”空间重构与优化: 河北野三坡旅游区苟各庄村的案例实证[J]. 自然资源学报, 2016, 31(3):425-435.

[32]马明, 刘家铭, 李咏. 空间规划视域下“三生空间”划定方法与实践研究: 以淮南市为例[J]. 皖西学院学报, 2019, 35(3):58-64.

[33]刘春芳, 王奕璇, 何瑞东, 等. 基于居民行为的三生空间识别与优化分析框架[J]. 自然资源学报, 2019, 34(10):2113-2122.

[34]武占云, 单菁菁. 城市“三生空间”格局演化与优化对策研究[J]. 城市, 2019(10):15-26.

[35]李欣, 方斌, 殷如梦, 等. 江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11):2363-2377.

[36]周晓艳, 于泮玉, 张苗苗. 武汉城市圈三生功能时空格局及权衡与协同分析[J]. 湖北社会科学, 2019(11):63-71.

[37]李欣, 殷如梦, 方斌, 等. 基于“三生”功能的江苏省国土空间特征及分区调控[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8):1833-1846.

[38]孙丕苓, 许月卿, 刘庆果, 等. 环京津贫困带土地利用多功能性的县域尺度时空分异及影响因素[J]. 农业工程学报, 2017, 33(15):283-292.

[39]周晓艳, 于泮玉, 张苗苗. 武汉城市圈三生功能时空格局及权衡与协同分析[J]. 湖北社会科学, 2019(11):63-71.

[40]马超前. “三生”视角下的滨海新区国土空间功能评价研究[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(1):104-105.

[41]陈晓丽, 罗马诗艺. 长江经济带“三生”空间功能耦合协调的时空演化特征研究[J]. 国土资源科

技管理, 2019, 36(6):1-12.

[42] 魏小芳, 赵宇鸾, 李秀彬, 等. 基于“三生功能”的长江上游城市群国土空间特征及其优化[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(5):1070-1079.

[43] 徐磊, 董捷, 李璐, 等. 基于功能分区视角的长江中游城市群国土空间特征及优化[J]. 经济地理, 2017, 37(6):76-83.

[44] 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.

