

引用格式:李翔,朱江,尹向东.基于夜间灯光数据的中国经济发展时空格局特征[J].地球信息科学学报,2019,21(3):417-426. [ Li X, Zhu J, Yin X D. Spatio-temporal pattern of Chinese economy development based on nightlight data[J]. Journal of Geo-information Science, 2019, 21(3):417-426. ] DOI:10.12082/dqxxkx.2019.180569

# 基于夜间灯光数据的中国经济发展时空格局特征

李翔,朱江\*,尹向东

广州市城市规划勘测设计研究院,广州 510060

## Spatio-temporal Pattern of Chinese Economy Development based on Nightlight Data

LI Xiang, ZHU Jiang\*, YIN Xiangdong

Guangzhou Urban Planning and Design Survey Research Institute, Guangzhou 510060, China

**Abstract:** Knowledge on the spatio-temporal pattern of economy development can effectively help inform policy on economy. Most current studies on spatio-temporal pattern in economic development mainly rely on statistical data. However, these statistical data have disadvantages such as lacking of consistently statistical standard and low spatial resolution. These shortcomings prevent the use of statistical data to accurately describe the real pattern of economic development. Nightlight data covers the most surface on the earth, and it is available with free of charge. Moreover, the nightlight data is highly related to socio-economic activities, so it can be used as a proxy variable to study human activities. Based on the Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System (DMSP/OLS) nightlight data, three methods including gravity center, standard deviation ellipse, and local Moran's I were used in this study to explore the spatio-temporal pattern in Chinese economic development at different scales. The results showed that: (1) Chinese economic gravity center moved to the southeast from 2003 to 2013, but the moving distance was reduced year by year. These results indicated that there existed an economic gap between eastern region and inland region, but the gap was reduced gradually in these periods. The ellipse's extent of standard deviation in Chinese economy expanded, but its oblateness decreased from 2003 to 2013. This implies that the total volume of Chinese economy continued to raise, however, the spatial pattern became locally aggregated gradually. Besides, the direction angle of Chinese economy's standard deviation ellipse deflected to the east in these periods, which agrees with the result that the economic gravity center moved to the southeast. (2) High-high and low-low clustered areas were the two most obvious features of Chinese economy.

**Key words:** nightlight data; economy development; spatio-temporal pattern; characteristic studying; China

**\*Corresponding author:** ZHU Jiang, E-mail: zhujiang\_gzpi@163.com

**摘要:** 系统掌握经济发展的时空格局特征能为制定经济发展战略提供决策支持。目前对经济发展时空格局的研究主要依靠

收稿日期:2018-11-08;修回日期:2019-01-04.

基金项目:广州市城市规划勘测设计研究院青年基金项目(2018科研(院)60)。[ **Foundation item:** Youth Fund Sustentation Project of Guangzhou Urban Planning and Design Survey Research Institute, No.2018-60. ]

作者简介:李翔(1991-),男,河北邯郸人,硕士生,主要从事土地利用变化、城市扩张监测方面研究。

E-mail: leexiang\_nju@foxmail.com

\*通讯作者:朱江(1975-),女,山东济南人,博士,教授级高工,主要从事国土空间规划、多规合一、土地政策等方面研究。

E-mail: zhujiang\_gzpi@163.com

统计数据。然而统计数据存在口径不统一、空间分辨率低等缺点,难以精准刻画经济发展的格局特征。夜间灯光数据具有易获取、覆盖范围广、与人类社会经济活动高度关联的优点,可以作为经济发展水平的代理变量。本文以DMSP/OLS(Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System)夜间灯光数据为基础,利用重心、标准差椭圆以及局部莫兰指数等空间分析工具从不同尺度、角度探究中国经济发展的时空格局特征。研究发现:① 2003–2013年,中国经济重心不断向东南方向移动,且移动距离呈逐年减少趋势,说明东部与内陆区域经济体量存在差异,但是差异水平正逐渐减小。中国经济的标准差椭圆范围不断扩大但是扁率减小,说明中国经济总量不断提升,但整体集聚度有所下降。同时椭圆的方向角不断向东偏转,与经济重心朝东南方向移动的结果吻合。② 高高聚集和低低聚集是中国经济发展最明显的2种类型。高高聚集区会辐射带动周边区域发展,这一特点在山东半岛和长江三角洲最明显,低低聚集主要分布在西部和东北欠发达地区。2003–2013年间,低低聚集范围有所减少,由连片分布变为局部聚集。本研究基于夜间灯光数据揭示了2003–2013年中国经济发展的时空格局特征,为制定宏观经济战略提供决策支持。

**关键词:** 夜间灯光数据; 经济发展; 时空格局; 特征研究; 中国

## 1 引言

自1978年改革开放以来,中国经济迅速发展,总体水平不断攀升。但是由于自然条件、政策等原因,区域之间存在较大发展差异<sup>[1]</sup>。根据刘夏明等<sup>[2]</sup>、滕召建<sup>[3]</sup>等的研究成果,2000年以来,中国各省的经济发展差距呈扩大趋势。实现区域协调发展是国民经济健康运行的重要条件,也是全面建成小康社会的重要基础<sup>[4]</sup>。过大的发展差异有悖于新发展理念,甚至威胁中国稳定有序的发展环境<sup>[5]</sup>。因此,全面系统地掌握经济发展的时空格局特征对于明确经济发展差异、合理制定宏观经济战略意义重大。

国内外学者对经济发展的时空格局进行了广泛的研究。Chung等<sup>[6]</sup>基于SES(Social Economic Status)方法和政府统计数据测度了1976–2010年香港各区之间的经济发展差异;Chirila等<sup>[7]</sup>研究了金融危机对欧盟各国经济发展差异的影响;刘夏明等<sup>[2]</sup>利用基尼系数考察了省级尺度上的中国地区经济发展差异<sup>[2]</sup>;杨丰硕等<sup>[8]</sup>研究了江西省的地理因素对经济差异的影响。这些成果为进一步研究经济时空格局特征提供了思路和方法,但是以往研究主要利用GDP、人均收入等统计数据表征经济发展水平。统计数据存在口径不统一、可比价换算复杂等问题<sup>[9]</sup>,而且统计数据一般为均质的面板数据,空间分辨率较低,难以表现行政区内部经济发展的空间异质性。因此,借助更客观、尺度更精细的数据有助于更全面地研究经济发展的时空格局特征。

夜间灯光数据能探测到地球表面发出的亮光,是研究人类活动的有效数据源<sup>[10]</sup>。DMSP/OLS数据是目前应用最广泛的夜间灯光数据之一<sup>[11]</sup>,已被用于用人口估算<sup>[12]</sup>、用电量估算<sup>[13]</sup>、城市扩张监测<sup>[14]</sup>等方面的研究。夜间灯光数据可以通过亮度值高低反应社会经济水平的高低<sup>[15–16]</sup>。Marx等研究发

现,DMSP/OLS夜间灯光数据的亮度值与GDP数据高度相关,利用DMSP/OLS夜间灯光数据能有效估算GDP<sup>[17]</sup>。因此,将DMSP/OLS夜间灯光数据作为经济发展的代理变量是合理的。以往利用夜间灯光数据对经济的研究主要侧重于对GDP<sup>[17]</sup>、贫困度<sup>[18]</sup>等指标的估算,或者研究灯光累计值对人口、GDP的统计数据的响应情况<sup>[14]</sup>,较少涉及长时间序列的全国尺度经济发展格局的分析。

本文以中国大陆为研究区,研究时段为2003–2013年。首先对DMSP/OLS夜间灯光数据进行预处理,提高数据质量;然后利用重心、标准差椭圆和局部莫兰指数等空间分析工具从格网和地级行政区尺度探究2003–2013年中国经济发展时空格局特征,检验以往政策实施效果,提出了一套在格网尺度上测度经济发展时空格局的方法,为制定宏观经济发展战略提供参考依据。

## 2 数据源与研究方法

### 2.1 数据源

本文涉及数据包括3类:矢量数据、栅格数据和统计数据。数据具体参数如表1所示。

(1) 矢量数据:中国地市级行政区划数据<sup>[19]</sup>,用于裁剪栅格数据和计算以行政区为单位的经济重心和标准差椭圆。

(2) 栅格数据:包含DMSP/OLS夜间灯光数据<sup>[20]</sup>和MODIS数据<sup>[21]</sup>。DMSP/OLS夜间灯光数据作为经济水平的代理变量,用于计算格网尺度的经济重心、标准差椭圆以及统计每个地市级区划的灯光值。MODIS数据中包含EVI数据和MOD13A3数据产品。EVI数据用以缓解DMSP/OLS夜间灯光数据的亮度饱和现象,MOD13A3数据产品包含土地利用分类数据,用于提取建设用地上的灯光数据。

(3)统计数据:各地市级区划的国内生产总值(GDP)<sup>[5]</sup>,与地市级行政区划数据结合计算以行政区为单位的经济重心和标准差椭圆。

## 2.2 数据预处理

由于传感器性能的原因,DMSP/OLS夜间灯光数据存在灯光值不连续、亮度饱和的缺点<sup>[22]</sup>,这些缺点会影响数据可靠性。本文数据预处理主要是对DMSP/OLS夜间灯光数据进行不连续性校正与去饱和处理。进行预处理前对矢量数据和栅格数据定义投影,然后按照1 km×1 km的格网大小对栅格数据重采样。

### 2.2.1 DMSP/OLS夜间灯光数据不连续性校正

不连续性校正的目的是为了缓解卫星传感器本身及偶然误差的影响,使DMSP/OLS夜间灯光数据DN值的累计值随时间呈增长趋势<sup>[23]</sup>。根据曹子阳等<sup>[20]</sup>的研究,不连续性校正分为2步:

(1)年间校正。对同一年存在两幅影像的情况,计算两幅影像的平均值作为该年份的影像。

(2)年际校正。一个地区的灯光亮度是逐年增加的,一般不会骤增也不会骤减(除非遭遇战争、特大自然灾害),尤其对于中国这样发展较快的国家<sup>[20]</sup>。因此规定后一年的DMSP/OLS夜间灯光数据的DN

值,不小于前一年同位置上的DN值,如式(1)所示。

$$DN(n,i)=\begin{cases} 0 & DN(n+1,i)=0 \\ DN(n-1,i) & DN(n+1,i)>0 \\ & \text{且} DN(n-1,i)>DN(n,i) \\ DN(n,i) & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $DN(n-1,i)$ , $DN(n,i)$ , $DN(n+1,i)$ 分别代表第 $n-1$ 年、第 $n$ 年和第 $n+1$ 年经过年间校正的影像第 $i$ 个像元的DN值。

图1和图2展示了不连续性校正前后DMSP/OLS夜间灯光数据DN值累计值随时间的对比。从图1可以看出同一年由不同卫星获取的夜间灯光数据差别很大,且DN值累计值随时间波动很大,这种缺点极大地影响了DMSP/OLS夜间灯光数据的质量。经过处理后,DMSP/OLS夜间灯光数据的DN值累计值随时间呈上升趋势,不连续性得到有效校正。

### 2.2.2 DMSP/OLS夜间灯光数据去饱和和处理

根据Zhang等<sup>[24]</sup>的研究,同一位置的空间单元的灯光值与植被指数呈负相关。目前对DMSP/OLS夜间灯光数据进行去饱和处理的方法主要基于这一研究成果,如差值去饱和指数(Difference Index, DI)<sup>[13]</sup>,如式(2)所示;归一化去饱和指数(Normalized Difference Index, NDI)<sup>[13]</sup>,如式(3)所示;改

表1 数据主要参数

Tab. 1 Main parameters of data source

数据类型	数据名称	数据来源	比例尺/分辨率	数据时间
矢量数据	地市级行政区划	国家基础地理信息中心	1:400万	2017年
栅格数据	DMSP/OLS夜间灯光数据	美国国家海洋和大气管理局	1 km	2003–2013年
	MODIS数据	美国国家航空航天局		
统计数据	地区生产总值(GDP)	各省市统计年鉴	—	2003–2013年

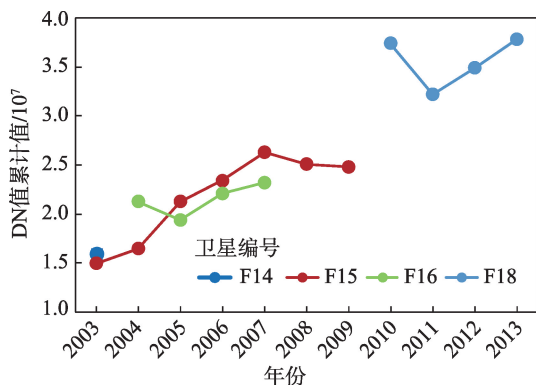


图1 不连续性校正前DMSP/OLS夜间灯光数据DN值累计值

Fig. 1 Accumulated values of DN value in DMSP/OLS nightlight data before discontinuity correction

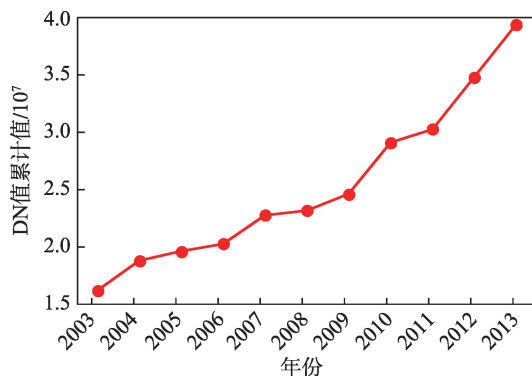


图2 不连续性校正后DMSP/OLS夜间灯光数据DN值累计值

Fig. 2 Accumulated values of DN value in DMSP/OLS nightlight data after discontinuity correction



进型去饱和指数(Enhanced Index, EI)<sup>[22]</sup>,如式(4)所示。本文将几种方法的去饱和效果做比较,选出最优方法。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)和增强型植被指数(Enhanced Vegetation Index, EVI)是最常用的2种植被指数数据。NDVI和EVI相比,在植被覆盖度较高地区易出现指数饱和现象<sup>[25]</sup>,影响去饱和效果,因此本文选择EVI数据进行去饱和和处理。

$$DI = NLD_n - VI \quad (2)$$

$$NDI = \frac{NLD_n - VI}{NLD_n + VI} \quad (3)$$

$$EI = \frac{1 + NLD_n - VI}{1 - (NLD_n - VI)} \quad (4)$$

式中: $NLD_n$ 代表夜间灯光数据的归一化值, $VI$ 代表植被指数。

以2013年DMSP/OLS夜间灯光数据为例,选择北京、长沙、昆明、汉中4个发展水平不同、区位不同的城市表现3种方法去饱和效果的差异。由图3可以看出,原始DMSP/OLS夜间灯光数据存在严重的亮度饱和问题,且亮度范围远超过城市的建成区范围。比较3种方法的结果发现,改进型去饱和指数能最有效地降低亮度饱和缺点,更加清晰地刻画城市内部空间结构。因此,本文选择改进型去饱和指数对2003–2013年的DMSP/OLS夜间灯光数据进行去饱和和处理。

### 2.2.3 建设用地上夜间灯光数据提取

根据以往研究,DMSP/OLS夜间灯光数据中存在大量噪声亮光(主要是地表反射的月光),这些亮光与人类活动无关,分布范围广,会严重干扰对社会经济活动的研究<sup>[26]</sup>。与人类活动有关的夜间灯光

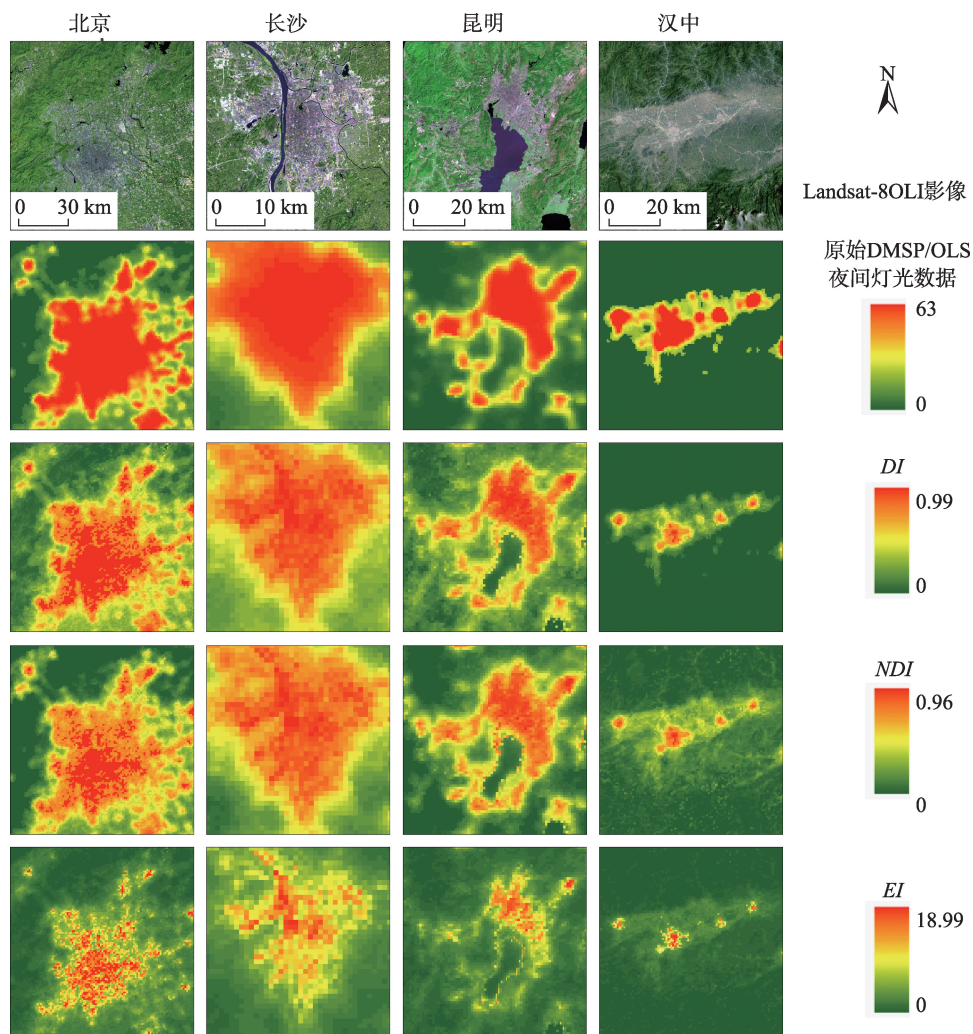


图3 不同方法对DMSP/OLS夜间灯光数据的去饱和效果比较

Fig. 3 Comparison of desaturation effect of different methods in DMSP/OLS nightlight data



一般分布在特定的土地利用类型上,主要是建设用地上<sup>[27]</sup>。利用MOD13A3数据产品中的建设用地分类结果提取建设用地上DMSP/OLS夜间灯光数据。

以2013年为例,比较各市全域灯光和建设用地上灯光累计值与GDP的相关性,发现建设用地上灯光数据的DN值累计值与GDP相关性更高,如图4所示,说明提取建设用地上灯光数据能有效过滤噪声亮度的影响,提高灯光数据与经济的关联度。

### 2.3 经济发展方向特征度量

和统计数据相比,夜间灯光数据可以看作一种连续的点数据。重心和标准差椭圆是点数据中常用的反映方向特征的模型,可以反映出地理要素的平均中心和主导方向等特点<sup>[28]</sup>。因此,本文选择重心和标准差椭圆表征经济发展的方向特征。

#### (1) 重心计算方法

重心的概念源自物理学,也称平均中心。通过计算重心及其迁移轨迹,可以明确经济发展的空间差异以及动态变化特征<sup>[27]</sup>。计算如式(5)所示。

$$\bar{x}_t = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ti} X_{ti}}{\sum_{i=1}^n I_{ti}}; \bar{y}_t = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ti} Y_{ti}}{\sum_{i=1}^n I_{ti}} \quad (5)$$

式中:  $\bar{x}_t$  和  $\bar{y}_t$  分别为第  $t$  年经济重心的横坐标和纵坐标;  $I_{ti}$  表示第  $t$  年第  $i$  个格网单元的灯光值;  $X_{ti}$  和  $Y_{ti}$  分别为第  $t$  年第  $i$  个格网单元的横坐标和纵坐标。

#### (2) 标准差椭圆计算方法

地理要素的重心也是其标准差椭圆的中心。标准差椭圆通过长短轴、方向角、扁率等参数定量

描述地理要素的空间分布状况<sup>[29]</sup>。长短轴表现地理要素的分布范围;方向角为长轴与正北方向顺时针的夹角,表现地理要素分布方向;长轴和短轴的比值为扁率,扁率越大,表明数据分布越集聚,反之越分散。标准差椭圆计算方法如式(6)所示<sup>[29]</sup>。

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2}{n}}, \quad SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2}{n}} \quad (6)$$

式中:  $SDE_x$  和  $SDE_y$  分别表示标准差椭圆  $x$  轴和  $y$  轴方向上的轴长;  $\tilde{x}_i = \bar{X}_{ti} - x_i$ ,  $\tilde{y}_i = \bar{Y}_{ti} - y_i$ ;  $\bar{X}_{ti}$  和  $\bar{Y}_{ti}$  分别为第  $t$  年第  $i$  个格网单元的横坐标和纵坐标;  $\bar{x}_t$ 、 $\bar{y}_t$  表示第  $t$  年重心的横、纵坐标。

### 2.4 经济发展空间集聚性度量

受空间相互作用影响,相邻城市的经济发展在空间分布上可能存在关联,这种关联表现为空间集聚性<sup>[30]</sup>。局部莫兰指数是常用的空间集聚性度量方法<sup>[19]</sup>。局部莫兰指数计算方法<sup>[19]</sup>如式(7)所示,计算结果分为5种类型:高高集聚,表示对象自身和相邻对象均为高值;高低集聚,表示对象自身为高值,相邻对象为低值;低高集聚,表示对象自身为低值,相邻对象为高值;低低集聚,表示对象自身和相邻对象均为低值;不显著,表示对象自身和相邻对象差别不大。

$$LI_i = \frac{(X_i - \bar{X})}{m} \sum_j W_{ij} (X_j - \bar{X}) \quad (7)$$

$$\text{其中, } m = \sum_j W_{ij} \frac{(X_j - \bar{X})}{n}$$

式中:  $LI_i$  表示第  $i$  个城市的局部莫兰指数的值;  $X_i$  表

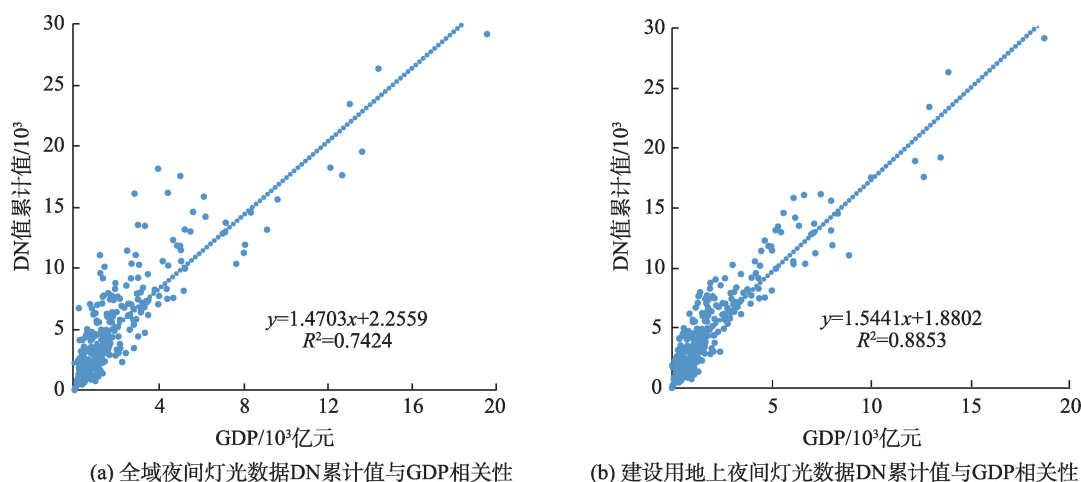


图4 全域灯光数据和建设用地上灯光数据的DN值累计值与GDP相关性比较

Fig. 4 Comparison of the relevance of DN accumulated values with GDP between nightlight data of whole extent and construction land.

示第 $i$ 城市灯光数据DN值累计值; $\bar{X}$ 表示所有城市灯光数据DN值累计值平均值; $X_i$ 表示除第 $i$ 个以外的其他城市灯光数据DN值累计值; $W_{ij}$ 为空间邻接矩阵; $n$ 代表城市总个数。

### 3 结果及分析

#### 3.1 中国经济发展方向特征分析

根据2.3节的方法,分别基于夜间灯光数据和统计数据计算得到各年份的格网尺度和行政区尺度的经济重心和标准差椭圆,如图5所示。从图5可以看出,利用地级行政区的GDP统计数据计算得到的经济重心迁移轨迹无明显方向特征。主要原

因有两点:①地级行政单位个数只有349个,存在样本数量偏少的缺点;②以行政区为单位计算时,认为行政区内的GDP分布是均质的,忽略了GDP分布的空间异质性。

利用夜间灯光数据能有效克服样本数量少、空间分辨率低的缺点,更加真实地反映中国经济重心的变迁。从重心移动过程来看,2003–2013年基于夜间灯光数据的经济重心大体朝东南方向移动,重心位移32.5 km,说明东部地区的经济体量高于内陆地区。经济发展受历史、自然、交通和政策等多种因素影响,改革开放以来,东部地区凭借相对较好的经济基础与政策优势迅速发展,与内陆地区拉开差距。经过几十年发展,东部地区的优势持续巩固,中国

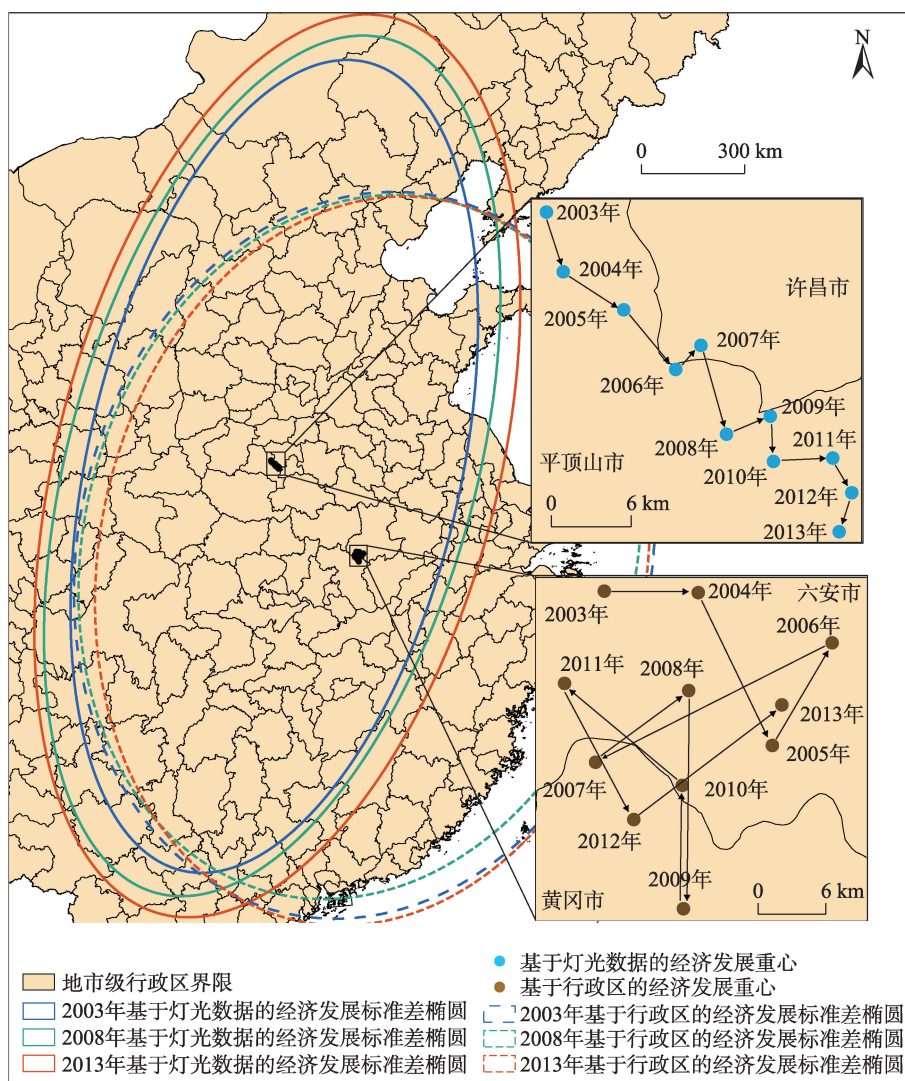


图5 基于夜间灯光数据和统计数据的中国经济重心迁移和标准差椭圆

Fig. 5 Migration of the gravity center and standard deviation ellipse of Chinese economy development based on nightlight data and statistical data

区域经济发展差异短期内不会彻底消除<sup>[2]</sup>。

进一步分析发现,2003–2013年经济重心每年移动距离呈逐年减小的趋势,有明显的“刹车效应”。主要原因包括政策扶持、资金支持和基础设施建设等方面。政策扶持方面,国家提出并实施“振兴东北”、“中部崛起”、“西部大开发”等战略,特别是实施“西部大开发”战略实施以来,国家通过规划指导、项目安排等方式加大了对西部地区的扶持力度,“西气东输”、“西电东输”等国家级重大项目盘活了中西部地区的资源禀赋,为中西部经济增长提供了重要支点。同时,重庆两江新区、甘肃兰州新区等国家级新区的设立为中西部经济发展提供科学实验区。随着“一带一路”等国家级倡议的提出,胡焕庸线以西地区被推向开放前沿,可以预见,中西部地区的资源红利和区位优势将被持续激活,西部地区经济发展空间将被继续拉开,吸引人流、物流的不断进入。资金支持方面,中央财政对西部地区转移支付从2000年的1089亿元增加到2008年的7933亿元,累计达30 338亿元,占中央对地方转移支付总额的43.6%<sup>[9]</sup>,资金支持不仅对维持西部地区社会经济正常运行起到关键作用,而且对刺激生产、扩大消费市场有重要意义。基础设施建设方面,青藏铁路、兰新铁路等重大基础设施的投入使用加强了西部地区与东部地区联系,同时促进了西部地区各项资源的流动,为西部地区经济长效增长构建了稳定的交通框架。2005年以来,中西部地区经济增长迅速,特别是西部地区,GDP增长速度保持在9%以上<sup>[3]</sup>,中西部地区经济增长迅猛,使得中国区域经济发展差异有所缓解,经济重心向东南方向移动的距离也逐渐减小。以往研究主要基于省级或市级尺度的经济统计数据测度中国经济发展的空间差异,研究结论大多为中国区域经济发展差异呈逐渐扩大趋势。然而统计数据存在口径不统一,可比价换算复杂,难以反映行政区内部经济发展空间异质性等缺点,无法从精细尺度准确探究中国经济发展的时空格局。本研究融合公里格网尺度的夜间灯光数据,一定程度上避免了上述数据的缺陷,使研

究结果更贴合实际。

从标准差椭圆角度来看,利用统计数据计算的各年份椭圆高度重合,无法准确揭示中国经济发展空间特征(表1)。基于夜间灯光数据计算的经济标准差椭圆更加瘦长,长轴为南北向,长度由2003年的2414 km增加到2013年的2701 km,短轴为东西向,长度由2003年的622 km增加到2013年的740 km。长短轴长度的增加使经济标准差椭圆面积不断扩大,由2003年的2 057 585 km<sup>2</sup>扩大到2013年的2 713 679 km<sup>2</sup>,主要原因是中国经济不断发展,在灯光数据上表现为空间单元的DN值普遍增大,亮区范围变广,因此需要更大的椭圆范围来囊括新增的亮区。中国经济标准差椭圆的方向角由2003年的18.65°变为2013年的20.04°,不断向东偏转,与前文经济重心朝东南方向移动的结果吻合。虽然经济标准差椭圆范围不断变大,但是椭圆扁率从2003年的3.87变为2013年的3.64,呈减小趋势,说明从中国经济逐渐呈现局部聚集、多点开花的特点,总体集聚度有所下降。

### 3.2 中国经济发展空间集聚性分析

本文利用地级行政区内的灯光累计值作为该行政区经济发展的代理变量,能避免部分地区统计数据不全、统计口径不统一的问题。利用局部莫兰指数表征中国经济发展的空间集聚性,选择2003年、2008年和2013年3个时间节点进行展示,表现中国经济发展空间集聚性的变化,如图6、图7所示。

高高集聚的城市只分布在环渤海、长江三角洲、珠江三角洲等地区,而且区域范围和相应城市群范围基本吻合。2003–2013年,山东半岛和长江三角洲地区的高高集聚区域表现出了最明显的辐射和带动作用。2003年山东半岛只有济南、青岛等地为高低集聚,长江三角洲只有上海、苏州等地为高高集聚,到2013年,山东半岛形成了以济南和青岛为核心,包含烟台、东营和潍坊等地的高高集聚区域,长江三角洲形成了以上海、南京和杭州为核心的包含苏州、无锡、宁波等地的泛长江三角洲高

表2 各年份基于夜间灯光数据计算的中国经济标准差椭圆的主要参数

Tab. 2 Main parameters of Chinese economy's standard deviation ellipse based on nightlight data of different years

年份	长轴长度/km	短轴长度/km	椭圆面积/km <sup>2</sup>	方向角/°	扁率
2003	2414	622	2 057 585	18.65	3.87
2008	2563	682	2 396 771	19.62	3.75
2013	2701	740	2 713 679	20.04	3.64



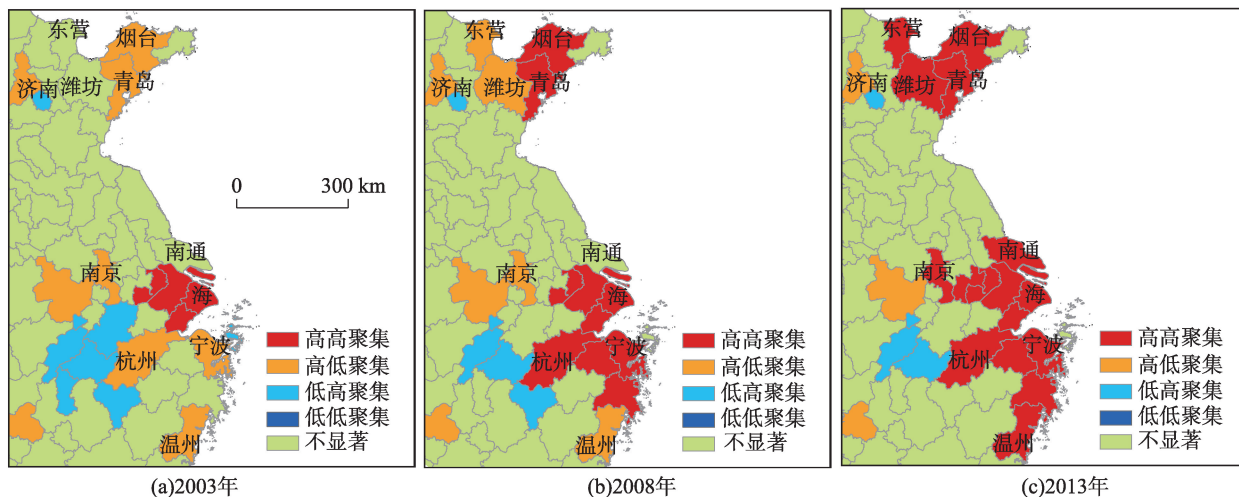


图6 2003–2013年山东半岛及长三角地区经济发展空间集聚性变化

Fig. 6 Change of spatial aggregation of Shandong Peninsula and Yangtze River Delta's economy development from 2003 to 2013

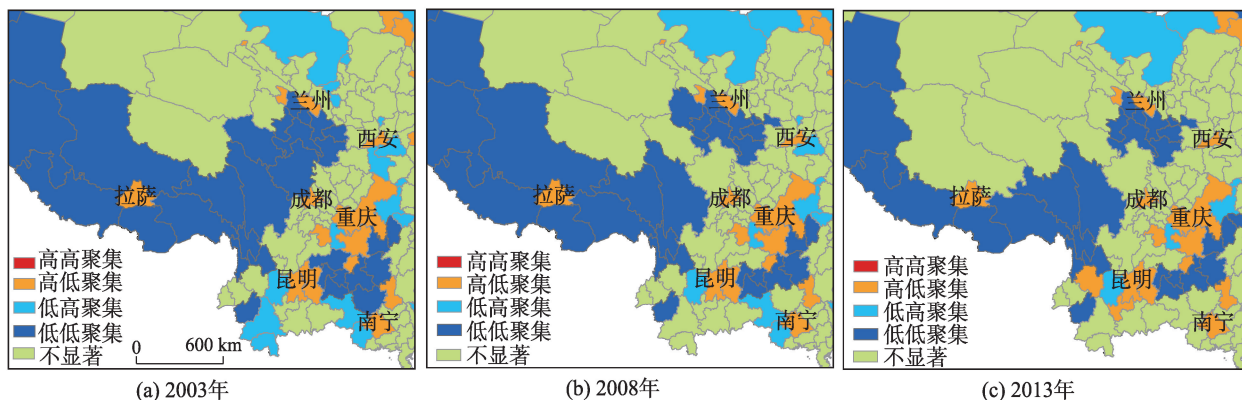


图7 2003–2013年西部地区经济发展空间集聚性变化

Fig. 7 Change of spatial aggregation of western region's economy development from 2003 to 2013

高集聚区域。环渤海和珠江三角洲的高高集聚范围从2003年开始基本无变化,说明这两个高高集聚区域对周边城市的辐射作用较弱。高低集聚一般为区域重点城市,这些城市相对周边城市有着更好的发展环境,对人口、资源的吸引力更大,经济增长相对较快。值得注意的是,山东半岛和长江三角洲一些高低集聚的城市随着时间的推移发生了转变,变成高高集聚类型,而中西部高低集聚城市由于自然和交通等原因对周边区域的带动作用不足,难以完成这样的转变。低高集聚主要分布在内蒙古和贵州、云南等地,且2003–2013年变化不大,主要为欠发达城市。低低集聚范围在2003–2013年有所减少,这与前文的经济重心移动距离减小的结论一致。2003年低低集聚主要分布在西藏、甘肃、青海、贵州和东北等地,为连片状分布。随着经济不断发展,部分城市脱离低低聚集区,到2013

年,西藏、青海和贵州等地的低低聚集区范围有所减少,但东北的低低聚集区范围有所增多。

## 4 结论与讨论

本文首先对DMSP/OLS夜间灯光数据进行预处理,提高数据质量,然后以夜间灯光数据作为经济发展代理变量,利用重心、标准差椭圆和局部莫兰指数等工具从格网尺度和行政区尺度探究了2003–2013年中国经济发展的方向特征与空间集聚特征,弥补了以往只用统计数据的样本数量偏少、空间分辨率低等缺点,主要结论如下:

(1)利用统计数据计算重心和标准差椭圆无法准确地揭示中国经济发展的时空格局特征。2003–2013年,基于夜间灯光数据计算的中国经济重心不断向东南方向移动,但是移动距离大致呈逐年减小

的趋势,说明中国东部地区和内陆地区经济体量仍然存在差距,但是差距逐渐减小。基于夜间灯光数据计算的经济标准差椭圆范围不断扩大但是扁率逐渐减小,表明中国经济总量不断增加,但是区域集聚性更加突出,整体聚集度有所下降。

(2)研究时段内,高高集聚分布在长江三角洲、珠江三角洲等经济发达地区,且山东半岛和长江三角洲的高高集聚区域对周边城市有最明显的带动作用。高低集聚主要是区域重点城市。低高集聚区域主要是中西部欠发达城市。低低集聚主要位于西藏、青海、贵州、东北等地区,研究时段内低低集聚区域范围有所减少,分布特点由连片状变为局部聚集。

DMSP/OLS 夜间灯光数据为研究人类活动提供了新的数据源,但是其数据质量不高,应用之前需要进行复杂的预处理,且数据存档只有 1992–2013 年。和 DMSP/OLS 夜间灯光数据相比,NPP/VIIIRS (National Polar-orbiting Partnership, Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) 夜间灯光数据、珞珈一号数据等新一代夜间灯光数据在空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率上有明显提升,更加适合用于研究人类经济社会活动。另外,由于夜间灯光数据几乎覆盖全球范围,后续可以利用它在洲际甚至全球尺度上探索人类社会经济活动的特征和规律。

#### 参考文献(References):

- [1] 周玉科,高锡章,倪希亮.利用夜间灯光数据分析我国社会经济发展的区域不均衡特征[J].遥感技术与应用,2017,32(6):1107-1113. [Zhou Y K, Gao X Z, Ni X L. Analyzing regional inequality of socioeconomic development in China with night light[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017,32(6):1107-1113.]
- [2] 刘夏明,魏英琪,李国平.收敛还是发散?——中国区域经济发展争论[J].经济研究,2004(7):70-81. [Liu M X, Wei Y Q, Li G P. Convergence or divergence?——Debate on China's regional development[J]. Economic Research Journal, 2004(7):70-81.]
- [3] 滕召建.中国省域经济发展的空间计量分析[D].昆明:云南财经大学,2017. [Teng Z J. Chinese economy development spatial econometric analysis at provincial scale[D]. Kunming: Yunnan University of Finance and Economics,2017.]
- [4] 刘华军,杜广杰.中国经济发展的地区差距与随机收敛检验——基于 2000–2013 年 DMSP/OLS 夜间灯光数据[J].数量经济技术经济研究,2017,34(10):43-59. [Liu H J, Du G J. Regional inequality and stochastic convergence in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2017,34(10):43-59.]
- [5] 任启龙,王利,李会.中国区域经济发展空间差异性分析[J].地理与地理信息科学,2017,33(1):110-116. [Ren Q L, Wang L, Li H. Analysis on spatial disparities of regional economic development in China[J]. Geography and Geo-information Science, 2017,33(1):110-116.]
- [6] Chung R Y, Lai F T, Chung G K, et al. Socioeconomic disparity in mortality risks widened across generations during rapid economic development in Hong Kong: An age-period-cohort analysis from 1976 to 2010[J]. Annals of Epidemiology, 2018,28(11):743-752.
- [7] Chirila V, Chirila C. The impact of economic and financial crisis on the regional disparities in Romania and European Union[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014,109:502-506.
- [8] 杨丰硕,杨晓梅,王志华,等.江西省典型县域经济差异影响因子地理探测研究[J].地球信息科学学报,2018,20(1):79-88. [Yang F S, Yang X M, Wang Z H, et al. Geographic detection of impact factors of economic differences among typical counties in Jiangxi province[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(1):79-88.]
- [9] 徐康宁,陈丰龙,刘修岩.中国经济增长的真实性的检验:基于全球夜间灯光数据的检验[J].经济研究,2015,50(9):17-29. [Xu K N, Chen F L, Liu X Y. The truth of China economic growth: Evidence from global night-time light data[J]. Economic Research Journal, 2015,50(9):17-29.]
- [10] Elvidge C, Cinzano P, Pettit D, et al. The night-sat mission concept[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007,28(12):2645-2670.
- [11] Wu J, Wang Z, Li W F, et al. Exploring factors affecting the relationship between light consumption and GDP based on DMSP/OLS nighttime satellite imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2013,134:111-119.
- [12] 李翔,陈振杰,吴洁璇,等.基于夜间灯光数据和空间回归模型的城市常住人口格网化方法研究[J].地球信息科学学报,2017,19(10):1298-1305. [Li X, Chen Z J, Wu J X, et al. Gridding methods of city permanent population based on night light data and spatial regression models[J]. Journal of Geo-information Science, 2017,19(10):1298-1305.]
- [13] 潘竞虎,李俊峰.基于夜间灯光影像的中国电力消耗量估算及时空动态[J].地理研究,2016,35(4):627-638. [Pan J H, Li J F. Estimate and spatio-temporal dynamics of electricity consumption in China based on DMSP/OLS images[J]. Geographical Research, 2016,35(4):627-638.]
- [14] 杨任飞,罗红霞,周盛,等.夜间灯光数据驱动的成渝城市群空间形成过程重建及分析[J].地球信息科学学报,

- 2017,19(5):653-661. [ Yang R F, Luo H X, Zhou S, et al. Restoring and analyzing the space forming process of Chengdu- Chongqing urban agglomeration by using DMSP/OLS night-time light data[J]. Journal of Geo-information Science, 2017,19(5):653-661. ]
- [15] Zhao M, Cheng W, Zhou C H, et al. GDP spatialization and economic differences in South China based on NPP-VIIRS nighttime light imagery[J]. Remote Sensing, 2017, 9(7):673-688.
- [16] Fan J F, Ma T, Zhou C H, et al. Comparative estimation of urban development in China's cities using socioeconomic and DMSP/OLS night light data[J]. Remote Sensing, 2014,6(8):7840-7856.
- [17] Marx A, Ziegler R. Analysis of panamanian DMSP/OLS nightlight corroborates suspicions of inaccurate fiscal data: A natural experiment examining the accuracy of GDP data[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2017,8:99-104.
- [18] 袁涛. DMSP/OLS 数据支持的贫困地区测度方法研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013. [ Yuan T. Monitoring methods for poor areas supported by DMSP/OLS Night- light imagery[D]. Beijing: China University of Geoscience (Beijing), 2013. ]
- [19] 李佳洺,陆大道,徐成东,胡焕庸线两侧人口的空间分异性及其变化[J].地理学报,2017,72(1):148-160. [ Li J M, Lu D D, Xu C D. Spatial heterogeneity and its changes of population on the two sides of Hu Line[J]. Acta Geographic Sinica, 2017,72(1):148-160. ]
- [20] 曹子阳,吴志峰,匡耀求,等. DMSP/OLS 夜间灯光影像中国区域的校正及应用[J].地球信息科学学报,2015,17(9): 1092-1102. [ Cao Z Y, Wu Z F, Kuang, Y Q, et al. Correction of DMSP/OLS night-time light images and its application in China[J]. Journal of Geo- information Science, 2015,17(9):1092-1102. ]
- [21] Pandey P, Mandal V, Katiyar S, et al. Geospatial approach to assess the impact of nutrients on rice equivalent yield using MODIS Sensors' based MOD13Q1-NDVI data[J]. IEEE Sensors Journal, 2015,15(11):6108-6115.
- [22] 卓莉,张晓帆,郑璟,等.基于EVI指数的DMSP/OLS夜间灯光数据去饱和方法[J].地理学报,2015,70(8):1339-1350. [ Zhuo L, Zhang X F, Zheng J. An EVI-based method to reduce saturation of DMSP/OLS nighttime light data [J]. Acta Geographic Sinica, 2015,70(8):1339-1350. ]
- [23] Detecting spatiotemporal dynamics of global electric power consumption using DMSP-OLS nighttime stable light data[J]. Applied Energy, 2016,184(15):450-463.
- [24] Zhang Q L, Crystal, S, et al. The vegetation adjusted NTL urban index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity[J]. Remote Sensing of Environment, 2013,129(2):32-41.
- [25] 邓刘洋,沈占锋,柯映明.城市建成区遥感影像边界提取与扩张分析[J].地球信息科学学报, 2018,20(7):996-1003. [ Deng L Y, Shen Z F, Ke Y M. Built-up area extraction and urban expansion analysis based on remote sensing images[J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(7):996-1003. ]
- [26] Zhuo L, Zheng J, Zhang X, et al. An improved method of night-time light saturation reduction based on EVI[J]. International Journal of Remote Sensing, 2015,36(16):4114-4130.
- [27] 吴洁璇.开放数据支持下的城市建设用地利用效率评价方法研究[D].南京:南京大学,2016. [ Wu J X. Study on evaluation method of city construction land use efficiency support by open data [D]. Nanjing: Nanjing University, 2016. ]
- [28] 王欣,吴殿延,肖敏.产业发展与中国经济重心迁移[J].经济地理,2006,26(6):978-981. [ Wang X, Wu D Y, Xiao M. Industrial development and moving of Chinese economic barycenter[J]. Economical Geography, 2006,26(6):978-981. ]
- [29] Gong J. Clarifying the standard deviational ellipse[J]. Geographical Analysis, 2002,34(2):155-167.
- [30] 李汝资,王文刚,宋玉祥.东北地区经济差异演变与空间格局[J].地域研究与开发,2013,32(4):28-32. [ Li R Z, Wang W G, Song Y X. The economy disparity evolution and spatial pattern of northeast area in China[J]. Areal Research and Development, 2013,32(4):28-32,89. ]