

成渝经济区近20年城市扩展研究^{*}

——基于DMSP/OLS夜间灯光数据

刘春霞^{1,2,3}, 朱康文⁴, 李月臣^{1,2,3}

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331; 2. GIS应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 401331;
3. 三峡生态环境遥感研究所, 重庆 401331; 4. 重庆市环境科学研究院, 重庆 400020)

摘要:【目的】研究成渝经济区城市扩展基本状况以及未来城市可能的发展方向。【方法】采用1992—2012年DMSP/OLS夜间灯光数据,运用“影像自校正方法”和“动态阈值法”对城市扩展数据进行提取,采用重心偏移相关指数、灯光指数和城市化相关指数以及指数聚类分析方法对成渝经济区近20年来城市扩展情况进行分析。【结果】结果表明:1)灯光数据提取误差在4%以内;2)成渝经济区扩展区在1997—2007年的增加面积比例最小,同时期四川部分增加比例下滑,重庆部分持续上升;3)成渝经济区城市重心在1992—2012年时期向东南方向波动变化,四川部分城市区/扩展区重心均先靠向成都市区然后向绵阳方向转移,重庆部分城市化区/扩展区重心位置沿东北方向较快移动;4)成渝经济区近20年来城市发展以第i类为主,四川部分城市化呈现出加速提升—持续加速—减速提升—加速提升的态势,重庆部分城市化呈现出加速提升—减速提升—加速提升—持续加速的态势。【结论】成渝经济区呈现以成都市和重庆市为两极向外不断扩展的趋势,是一种非良性发展,应注重多极化发展。采用DMSP/OLS夜间灯光数据对成渝经济区城市扩展进行分析结果较好,对充分了解区域内城市化区域发展类型有较好的参考价值。

关键词:DMSP/OLS夜间灯光数据;城市扩展;灯光指数;聚类分析;成渝经济区

中图分类号:K901.8

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2017)06-0117-10

20世纪90年代以来,“土地利用/覆被变化科学研究计划”和“全球陆地计划”先后启动使土地利用/覆被变化成为全球变化研究热点,与此同时中国步入城市化加速时期^[1-2]。21世纪是城市化快速发展的时代,城市化和城市扩展逐渐成为土地利用变化的主要特征。城市扩展最主要的特征是建成区面积随着城市化不断加快出现不断向外延伸和面积增加的现象^[3]。城市扩展会产生一系列生态环境问题、土地利用问题,并对城市景观格局有显著影响^[4]。对城市扩展的时空特征进行研究对于促进土地资源的集约化利用和城市可持续发展意义重大。

目前关于城市扩展研究主要集中在利用遥感影像数据获取城市建成区并对建成区分布和扩展情况进行分析等方面。由于常规的遥感影像(例如TM/ETM+,MODIS等)存在需要人工解译或者数据质量差等问题,为了避免这些问题,可以采用DMSP/OLS夜间灯光数据进行城市扩展的研究。何春阳等人^[5-8]先后使用DMSP/OLS夜间灯光数据构建灯光指数估算了中国省际城市化水平并在城市扩展方面做了一定的研究,取得了较好的成果。如何从DMSP/OLS数据中提取建成区是国内外学者关注的热点,灯光数据提取建成区最主要的问题是最佳阈值的选择。舒松等人^[9]对从灯光数据中提取城市建成区的4种方法即经验阈值法、突变检测法、统计数据法和较高分辨率影像数据空间比较法进行了比较。米晓楠等人^[10]采用辅助资料的空间比较法进行城市中心城区的提取取得了较好的效果。Imhoff等人^[11-13]发现DMSP/OLS数据灯光多边形随着像元探测频率的增加灯光数据内部开始出现破碎化的点,将出现此点的探测频率作为提取城市面积的阈值。Small等人^[14]以10%的探测频率为步长探索,记录多边形周长及图心等物理性质的变化,根据灯光面积物理性质与土地利用一致的特性确定合适的阈值。朱康文等人^[15]利用重庆市40个区县的建成区统计数据及多项统计年鉴数据建立回归模型

* 收稿日期:2016-10-12 修回日期:2017-02-09 网络出版时间:2017-11-10 15:36

资助项目:国家自然科学基金(No.41571419)

第一作者简介:刘春霞,女,副教授,研究方向为区域规划和产业地理,E-mail:54425836@qq.com;通信作者:李月臣,教授,E-mail:78076113@qq.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20171110.1536.020.html>

提出了县域灯光数据阈值的提取方法。综合来看,这些方法中统计数据法较便捷且精度较高,应用最为广泛。对应用 DMSP/OLS 数据进行城市建成区提取方法进行总结发现,辅助资料对比法最为简单实用^[16-17]。它主要是利用统计数据或者遥感图像作为辅助资料来确定最佳分割阈值,而统计数据相对来说是一种方便获取易使用且来自国家权威部门的数据。

成渝经济区作为中国西南地区的经济发展中心,近些年来城市扩展迅速,研究此区域具有重要的现实意义。本研究采用 1992—2012 年 DMSP/OLS 夜间灯光数据,并以 1992—2012 年《中国城市统计年鉴》数据作为辅助数据,采用“影像自校正方法”和“动态阈值法”对常规的辅助资料对比法进行改进,对城市化区域变化类型、重心偏移相关指数、灯光指数和城市化相关指数以及指数聚类分析等方面进行分析阐述。以此对成渝经济区近 20 年来城市扩展情况进行分析和研究,对了解成渝经济区城市扩展基本状况、趋势以及未来城市发展方向具有很好的参考价值和意义。

1 数据来源及预处理

自 1976 年 9 月 DMSP 卫星首次搭载 OLS 传感器后开始获取 DMSP/OLS 数据,DMSP/OLS 数据在 1992 年之前主要是照片,之后才开始有数字产品。其中第 4 版 (Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series) 主要包括 Average Visible, Stable Lights 和 Cloud Free Coverages 数据^[18-22]。该数据具有不受光线阴影影响、可以探测低强度灯光和易获取等优点。DMSP/OLS 数据容易获取,可在美国国家地理信息中心网站免费查阅 (<http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>)。自 1992 年以来,OLS 数据的获取主要通过卫星 F10, F12, F14, F15, F16 和 F18 来进行。Liu 等人^[23]对中国区 1992—2009 年 DMSP/OLS 数据进行统计分析,发现不同卫星所得数据间存在明显差异。参考王晓慧等人^[24]的研究,选取 F101992, F141997, F142002, F162007, F182012 这 5 期 DMSP/OLS 灯光数据作为源数据。将 5 期全球 DMSP/OLS 用成渝经济区边界进行裁剪,得到 5 期成渝经济区 DMSP/OLS 夜间灯光数据。

2 研究方法

2.1 DMSP/OLS 夜间灯光数据的提取

2.1.1 影像自校正方法(逐像元算法)数据去噪 假设成渝经济区不会出现城市化区域退化为非城市化区域,即如果一个像元在 2007 年为灯光覆盖区域,那么在 2012 年这个像元也必须是灯光覆盖区域(符合中国当前的城市发展模式),否则判断它为噪声,赋值为 0,依次逆推。为了使数据在时间序列上保持稳定,参考 Liu 等人^[23]的研究成果对数据进行辐射定标校正,以黑龙江省鸡西市的 F162007 灯光数据作为样本对数据进行校正。

2.1.2 动态阈值法最佳阈值选取 由于去噪之后的图像并不能真实的反映研究区的城市扩展情况,参考 1992—2012 年《中国城市统计年鉴》数据,将动态阈值下灯光面积与统计年鉴中建成区面积之间差值最小时的阈值作为最佳阈值^[15],获取准确的夜间灯光数据,并用成渝经济区边界进行裁剪。

$$D_k = \sum_{D_x=D_t}^{D_{\max}} f(D_x),$$

$$E(D_t) = D_k - S_k。$$

上式中 k 表示区域编号, D_t 表示 k 区域内的动态阈值, t 为 0 到 F_{DN} (像元灰度或亮度值) 最大值之间的任意值, $f(D_x)$ 表示编号 k 区域内 DN 值为 D_x 的面积, D_k 表示 $f(D_t)$ 到 $f(D_{\max})$ 的和, S_k 表示统计年鉴数据中的建成区面积, $E(D_t)$ 表示在阈值 D_t 下 D_k 与 S_k 的差值, $k=1, 2$, 本研究中 k 表示四川省和重庆市。

2.2 城市化区域变化类型分析

城市化区域变化类型主要分为未开发区、扩展区和波动区。在 ArcGIS 10.1 软件中将基年、末年数据二值化,通过栅格计算工具即可获得 1992—1997 年, 1997—2002 年, 2002—2007 年, 2007—2012 年每 5 年间的成渝经济区城市化区域变化类型图(未开发区, 扩展区和波动区), 分析研究期间城市化区域变化的空间分布情况。例如将基年数据和末年数据的灯光值覆盖区域和未覆盖区域分别赋值为 0, 1 和 0, 10, 两期数据相加后为 0 代表

未开发区(基年和末年均不存在城市化区域),为 10 代表扩展区(基年没有但末年出现城市化区域),为 11 代表波动区(基年和末年均存在城市化区域)。

2.3 城市化区域重心变化相关指数计算

城市化区域重心(X, Y)定义为研究区所有城市化区域的重心位置,以经纬度计。重心理论在人口、能源、经济、产业、旅游等领域都有很好的应用^[24-26],通过城市化区域重心位置的变化可以反映出城市化区域空间分布的变化情况。4 个时期成渝经济区、成渝经济区(四川部分)和成渝经济区(重庆部分)城市化区域重心位置的变化情况可由 $X = (\sum_{i=1}^n F_{DN_i} \times x_i) / (\sum_{i=1}^n F_{DN_i})$, $Y = (\sum_{i=1}^n F_{DN_i} \times y_i) / (\sum_{i=1}^n F_{DN_i})$ 确定。式中: X, Y 表示城市化区域重心的经纬度坐标, F_{DN_i} 表示第 i 个像元的灰度值, (x_i, y_i) 表示第 i 个像元的坐标, n 为区域内像元总量。

重心偏移距离 Δ_t 是指城市化区域重心在某一研究时期内的移动距离,平均偏移速度 V_t 是指城市化区域重心在某一研究时期内的平均移动速度,偏移角度 α_t 是指城市化区域重心在某一研究时期内移动的方向与正东的夹角,三者的计算公式如下:

$$\Delta_t = \sqrt{(X_t - X_{t-1})^2 + (Y_t - Y_{t-1})^2}, \alpha_t = n\pi + \arctan\left(\frac{Y_t - Y_{t-1}}{X_t - X_{t-1}}\right), (n=0, 1, 2),$$

$$V_t = \Delta_t / T。$$

其中: (X_t, Y_t) 和 (X_{t-1}, Y_{t-1}) 分别是第 $t, t-1$ 年城市化区域的重心坐标; T 为时间间隔。

2.4 城市化指数定义及计算

城市化指数定义为能够反映城市化发展快慢及城市化程度的数值。在卓莉、陈晋等人^[27]的研究基础上增加 V, A 指数,城市化指数选用灯光指数 I, S, F_{CNLI} 和 V, A 来替代,具体定义为:

$$F_{CNLI} = I \times S, I = F_{DN_{sum}} / (F_{N_{sum}} \times F_{DN_{max}}), S = S_{Area_{DN}} / S_{Area}。$$

其中: F_{CNLI} 主要反映城市的区域综合城市化水平, I 主要反映了区域城镇经济发展水平和人口聚集状况, S 主要反映了区域城镇面积的平面扩展情况。

上式中 $F_{DN_{sum}}$ 表示区域内 F_{DN} 总和, $F_{N_{sum}}$ 表示 F_{DN} 大于 0 的像元总数, $F_{DN_{max}}$ 表示区域最大 F_{DN} 值, $S_{Area_{DN}}$ 表示 F_{DN} 大于 0 的像元总面积, S_{Area} 表示区域总面积。

根据牛顿运动定律,假设 H 表示城市化水平, V 表示城市化速度, A 表示城市化加速度,代表城市化增强的程度, t_1 表示起始年, t_2 表示终止年,则 V, A 的计算为:

$$V = (H_2 - H_1) / (t_2 - t_1), A = (V_2 - V_1) / (t_2 - t_1)。$$

其中: H 分别用 F_{CNLI}, I, S 代替,即可计算 V_{CNLI}, V_I, V_S 和 A_{CNLI}, A_I, A_S 。 $A > 0$ 表示加速增强, $A = 0$ 表示匀速增强, $A < 0$ 表示减速增强。

将成渝经济区的矢量边界文件转成和夜间灯光数据投影且栅格大小一致的栅格数据,运用 ArcGIS 软件中的 combine 功能将它与去噪后的夜间灯光数据叠加获取既含有夜间灯光数据属性又含有区属性的新数据。分区提取出 $F_{DN_{sum}}, F_{N_{sum}}, F_{DN_{max}}, S_{Area_{DN}}, S_{Area}$, 然后计算各区灯光指数 F_{CNLI}, I, S 。

2.5 聚类分析

由于 I, S, F_{CNLI} 和 V, A 分别反映城市发展变化的不同方面,所以对 $(V_I, V_S, V_{CNLI}), (A_I, A_S, A_{CNLI})$ 进行聚类分析可以很好反映不同指数在不同时期的变化快慢情况。从聚类分析的结果可以更清晰的分析出某一时期不同区域在不同方面的变化情况。例如 $(V_I < 0, V_S > 0, V_{CNLI} > 0)$ 聚为一类,则表示城市属于区域城镇面积平面扩展和区域综合城市化水平持续增加但经济发展水平和人口聚居情况处于下滑。

3 结果分析

3.1 夜间灯光数据提取及分析

夜间灯光数据和最佳阈值如图 1 及表 1 所示,相对误差在 4% 以内。图 1 可以明显的看出亮斑区域明显增大表明城市空间扩展非常迅速;曲线下 DN 总面积整体持续上升表明城市空间扩展在持续增加;DN 较高值对应的像元数在不断上升表明已城市化区域的城市化水平在不断提高。

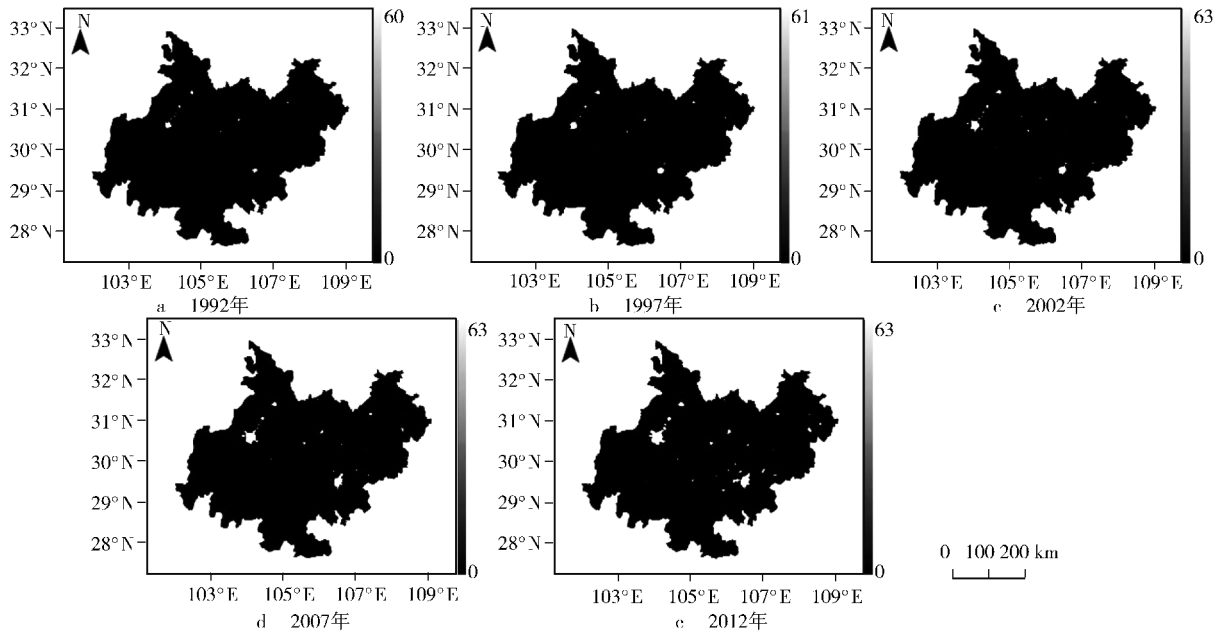


图 1 成渝经济区去噪后影像

Fig. 1 The image of Chengdu-Chongqing economic zone after de-noised

表 1 最佳阈值及相对误差

Tab. 1 The optimal threshold value and relative error value

年份	1992 年		1997 年		2002 年		2007 年		2012 年	
指标	四川省	重庆市	四川省	重庆市	四川省	重庆市	四川省	重庆市	四川省	重庆市
最佳阈值	18	21	19	23	33	35	42	39	46	45
相对误差/%	3	2	4	0	1	2	1	0	0	0

3.2 成渝经济区城市化区域变化类型分析

根据本文 2.2 部分的定义将每 5 年间的城市化区域变化情况分为未开发区、扩展区和波动区(图 2),结合表 2 分析发现,成渝经济区扩展区在 1997—2007 年的增加面积比例最小,同时期四川部分增加比例出现下滑,而重庆部分则持续上升,表明在 1997—2007 年四川部分的空间扩展水平低于重庆部分。表 2 结果显示:1) 整个成渝经济区扩展区持续增加;2) 四川部分在 1997—2007 年阶段的扩展区增速出现减缓的趋势(从 0.25% 降到 0.24%),而重庆部分此阶段的扩展区出现了较大的增速(从 0.32% 升到 0.52%)。分析原因主要是重庆市成为直辖市之后经济发展迅速,城市空间上扩展增速导致扩展区增速远远大于同时期的四川部分。

3.3 成渝经济区城市化重心变化分析

根据本文 2.3 部分的定义得到成渝经济区城市化区域/扩展区重心偏移图(图 3)和成渝经济区城市化区域/扩展区的 Δ_i, V_i, α_i 值(表 3)。结合图 3 和表 3 分析发现:1) 整个成渝经济区 Δ_i 从 1992—2012 年处于缓慢减小的状态,表明在逐步偏向城市内部的发展,四川部分 Δ_i 城市化区域和扩展区都在 2002—2012 年出现了明显的减弱,重庆部分城市化区域和扩展区都在 1997—2007 年出现了明显的增加并高于同时期四川部分,主要原因在于 1997—2007 年之后由于重庆市成为直辖市之后导致经济持续快速发展,而四川部分相对来说空间上外扩减缓,主要侧重于城市化区域内部发展;2) V_i 与 Δ_i 结果基本一致;3) 整个成渝经济区城市化区域重心在 1992—2012 年呈现出东南方向波动变化的趋势,1997—2001 年出现较大的偏向成都的趋势与此时期四川部分偏向西南方向移动一致;4) 四川部分城市化区域/扩展区重心均出现先靠向成都市区然后向绵阳市方向转移的趋势,这与绵阳市作为四川省第二大经济城市的实际相符;5) 重庆部分城市化区域/扩展区重心位置大体是沿东北方向移动,且偏移速度较快,表明重庆部分经济发展不断偏向东北方向发展。

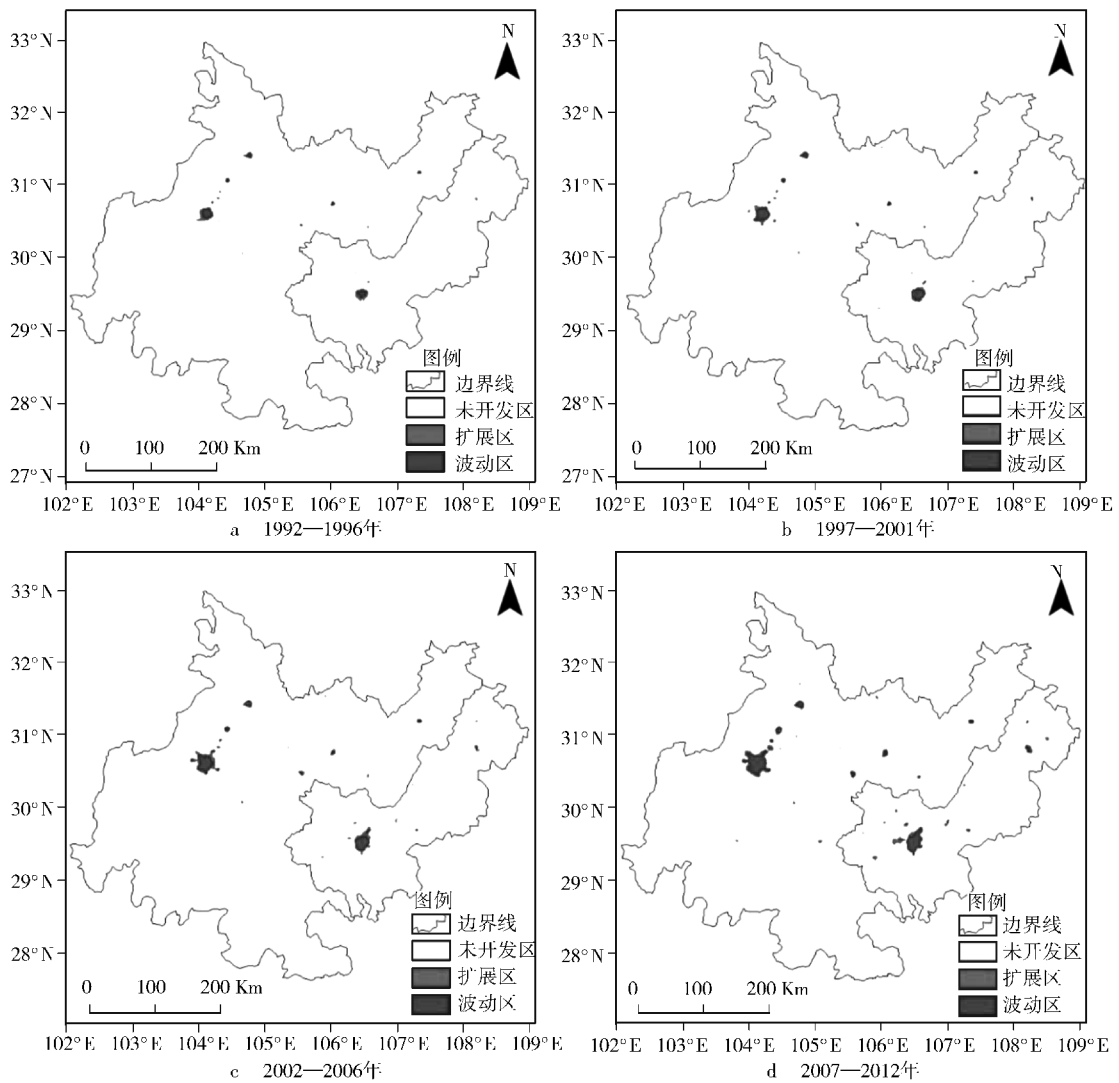


图 2 1992—2012 年城市化类型图

Fig. 2 The map of urbanization type in 1992—2012

3.4 灯光指数结果与分析

根据本文 2.4 部分中相关公式分别计算出四川部分和重庆部分的灯光/城市化指数 (F_{CNLI} , I , S 和 V, A, X), 为表述方便将 I, S 值分别扩大 10 000 倍(表 4)。

I, S, F_{CNLI} 明显的处于持续上升的趋势, 但是增加程度在两个区域有一定差别。成渝经济区在 1995—1999 年为起伏下降阶段, 1999—2008 年为波动上升阶段, 原

因在于 1998 年亚洲金融危机爆发^[28]。从表 4 可知, 1997—2001 年阶段重庆部分为减速增加, 2002—2007 年阶段四川部分为减速增加: 前者是由于重庆市 1997 年刚成为中国最年轻的直辖市, 它受到金融危机的消极影响较四川省大, 后者则可以从四川部分在 2007—2012 年阶段的建成区面积增幅来分析, 建成区面积增幅为 1997—2012 年阶段里面最低, 表明城市化空间扩展的缩减对于此阶段四川部分的城市发展有一定影响。

表 2 各时期扩展区/波动区面积比例

Tab.2 The percent of extension and fluctuation area in each period %

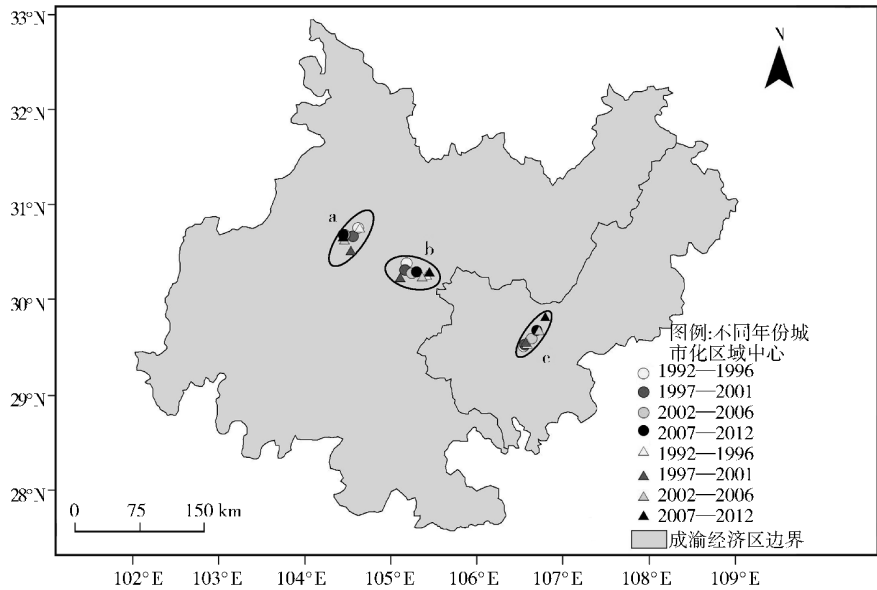
时期	成渝经济区		四川部分		重庆部分	
	扩展区	波动区	扩展区	波动区	扩展区	波动区
1992—1996 年	0.20	0.25	0.16	0.26	0.34	0.21
1997—2001 年	0.27	0.45	0.25	0.42	0.32	0.55
2002—2006 年	0.31	0.72	0.24	0.67	0.52	0.87
2007—2012 年	0.42	1.03	0.32	0.91	0.74	1.39

3.5 聚类分析

根据本文 2.5 部分对于聚类分析的解释,为了更直观地分析四川部分和重庆部分近 20 年来城市发展情况,对表 4 结果进行聚类分析。

3.5.1 速度类型分析 (V_I, V_S, V_{CNLI}) 聚类分析,表 4 中仅有 ($V_I > 0, V_S > 0, V_{CNLI} > 0$) 这种类型,反映了成渝经济区近 20 年来属于经济发展水平和人口聚集程度不断上升、城区面积在空间上面持续扩展、城市化综合水平不断上升的类型。

3.5.2 加速度类型分析 (A_I, A_S, A_{CNLI}) 聚类分析,根据结果可以分为 (i: $A_I > 0, A_S > 0, A_{CNLI} > 0$), (ii: $A_I < 0, A_S < 0, A_{CNLI} > 0$), (iii: $A_I < 0, A_S < 0, A_{CNLI} < 0$) 3 种类型,其中 2002 年重庆部分和 2007 年四川部



注: a, b, c 分别表示四川部分、成渝经济区、重庆部分的城市化重心偏移。

图 3 城市化区域重心偏移图

Fig. 3 The map of gravity shift in urbanized area

表 3 城市化区域 Δ_i, V_i, α_i 值

Tab. 3 The value of Δ_i, V_i , and α_i in urbanized area

指标	区域	时期	1992—2002 年	1997—2007 年	2002—2012 年
$\Delta_i / (^\circ)$	成渝经济区	城市化区	0.070	0.090	0.060
		扩展区	0.320	0.260	0.100
	四川部分	城市化区	0.110	0.110	0.010
		扩展区	0.260	0.140	0.040
	重庆部分	城市化区	0.020	0.100	0.110
		扩展区	0.020	0.210	0.160
$V_i (^\circ/T)$	成渝经济区	城市化区	0.014	0.018	0.012
		扩展区	0.064	0.052	0.020
	四川部分	城市化区	0.022	0.022	0.002
		扩展区	0.052	0.028	0.008
	重庆部分	城市化区	0.004	0.020	0.022
		扩展区	0.004	0.042	0.032
α_i	成渝经济区	城市化区	西偏南 74.32°	东偏南 21.53°	东偏北 9.58°
		扩展区	西偏南 4.08°	东偏北 1°	东偏北 29.99°
	四川部分	城市化区	西偏南 55.10°	西偏北 10.56°	西偏南 13.14°
		扩展区	西偏南 66.10°	西偏北 55.81°	西偏北 67.39°
	重庆部分	城市化区	东偏北 51.99°	东偏北 34.84°	东偏北 53.65°
		扩展区	西偏北 39.50°	东偏北 35.84°	东偏北 60.75°

表 4 1992—2012 年 F_{CNLI} , I , S 和 V , A , X 值
 Tab.4 The value of F_{CNLI} , I , S , V , A , and X from 1992 to 2012

指标	1992 年		1997 年		2002 年		2007 年		2012 年	
	四川部分	重庆部分	四川部分	重庆部分	四川部分	重庆部分	四川部分	重庆部分	四川部分	重庆部分
I	0.58	0.40	0.69	1.02	0.99	1.42	1.15	2.17	1.62	3.18
S	34.7	21.45	41.83	55.25	62.61	86.44	72.33	132.16	102.13	200.40
F_{CNLI}	20.06	8.68	28.69	56.52	62.21	122.50	83.04	286.32	165.56	637.48
V_I	0.00	0.00	0.02	0.12	0.06	0.08	0.03	0.15	0.09	0.20
A_I	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01
V_S	0.00	0.00	1.43	6.76	4.16	6.24	1.94	9.14	5.96	13.65
A_S	0.00	0.00	0.29	1.35	0.55	-0.10	-0.44	0.58	0.80	0.90
V_{CNLI}	0.00	0.00	1.72	9.57	6.71	13.20	4.17	32.76	16.50	70.23
A_{CNLI}	0.00	0.00	0.34	1.91	1.00	0.73	-0.51	3.91	2.47	7.49

分分别属于第 ii, iii 类, 其余均属于第 i 类。第 i 类属于经济发展水平和人口聚集程度、城区面积的空间扩展速度以及城市化综合水平均在增速提升的类型, 呈现出城市化区域范围不断扩大且内部经济不断增强的现象, 属于半集约半扩展型城市发展; 第 ii 类属于城市化综合水平增速提升, 但经济发展水平和人口聚集程度、城区面积的空间扩展速度均在减速提升的类型, 呈现出城区空间扩展减弱但城市化综合水平增速提升的发展趋势, 属于偏集约型发展; 第 iii 类属于经济发展水平和人口聚集程度、城区面积的空间扩展速度以及城市化综合水平均在增速提升的类型, 呈现出城市发展速度逐渐放缓的趋势, 属于逐渐退化型发展。

第 i 类城市发展模式在城市发展的较长时期内是良性的, 但是随着土地资源的减少和退化, 应使城市化发展不断向集约型过渡, 不断加强城市化内部经济的发展, 尤其在城市化水平发展到一定水平以后应尽可能减少城市化空间上的扩展; 第 ii 类城市发展模式较好, 虽然城市化区域空间扩展速度放缓, 但是城市化综合水平的增速提升表明了城市内部经济得到了很好的发展, 对于向集约型城市转化有很重要的意义和作用; 第 iii 类与第 ii 类的区别在于随着经济水平和城市面积外扩速度的减速增加的同时城市化综合水平也在减速增加, 这种情况下的城市发展是属于一种倒退式的, 虽然城市化面积在减速增加, 但是对应的城市内部经济却没有得到很好的加强, 导致城市化综合水平的减速增加, 应加强城市内部经济的发展, 以利于向集约型城市化发展转型。

成渝经济区近 20 年来城市发展主要集中在第 i 类, 表明城市综合水平的提升在很大程度上是依靠城市的空间扩展, 利用新区和房地产等开发项目提高城市化水平。2002 年重庆部分呈现出的良性发展未能持续以及 2007 年四川部分呈现出的非良性发展表明城市发展策略应转变。近 20 年来, 四川部分城市化发展呈现出 1992—1996 年加速提升, 1997—2001 年持续加速, 2002—2006 年减速提升, 2007—2012 年加速提升的态势; 重庆部分城市化发展呈现出 1992—1996 年加速提升, 1997—2001 年减速提升, 2002—2006 年加速提升, 2007—2012 年持续加速的态势。结合灯光数据影像图分析, 整个成渝经济区城市发展过于集中, 目前基本呈现出以成都市和重庆市为两极向外不断扩展的趋势。

4 结论与讨论

通过对成渝经济区近 20 年来城市扩展研究发现: 成渝经济区城市化区域面积持续增加; 整个成渝经济区城市化区域重心在 1992—2012 年时期呈现出东南方向波动变化的趋势; 四川部分城市化区域/扩展区重心均出现先靠向成都市区然后向绵阳市方向转移的趋势; 重庆部分城市化区域/扩展区重心位置大体是沿东北方向快速移动。聚类分析结果显示整个区域城市发展以第 i 类为主, 四川部分城市化发展呈现出加速提升—持续加速—减速提升—加速提升的态势, 重庆部分城市化发展呈现出加速提升—减速提升—加速提升—持续加速的态势。

城市发展呈现出以成都市和重庆市为两极向外不断扩展的趋势,从土地资源利用以及经济发展的角度分析这是一种非良性发展,应注重多极化发展,例如在保持 2002 年重庆部分的良好趋势同时加大对欠发达地区的开发。应调整城市发展模式以带动川西和渝东北等欠发展地区的城市化水平的提升,实现共同富裕。

采用 DMSP/OLS 夜间灯光数据对成渝经济区城市扩展进行分析结果较好,与实际情况相符,采用城市化区域变化类型、重心偏移指数、城市化相关指数以及灯光指数对于分析区域城市化发展变化以及区域间城市化发展差异的研究具有现实意义。虽然本研究的方法和思路对充分了解区域内城市化区域发展类型有较好的参考价值,对区域城市发展定位和制定城市发展政策也具有借鉴意义,但也存在一定的不足:本研究基于夜间灯光数据进行城市范围提取的方法是采用的是目前普遍采用的经验阈值法,该方法存在一定的主观性。如果能够探讨一种适宜成渝地区特殊地形特征的相对客观的城镇边界提前方法将进一步提高研究的科学性。目前对成渝经济区城镇化过程研究成果相对欠缺。本研究成果一定程度上丰富了成渝经济区城镇化过程研究,如果能够将研究区内部范围进一步细化,将会更加科学的揭示研究区城市发展的内在差异,但由于成渝经济区内行政区划的变化,而且跨省际范围的长时间序列的区县统计年鉴数据很难获取,本研究尚未进行研究区内部区域差异的研究,这也是以后需要深入研究的方向所在。

参考文献:

- [1] 刘纪远,张增祥,徐新良,等.21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J].地理学报,2009,64(12):1411-1420.
LIU J Y,ZHANG Z X,XU X L,et al.Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J].Acta Geographica Sinica,2009,64(12):1411-1420.
- [2] 刘纪远,张增祥,庄大方,等.20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].地理研究,2003,22(1):1-12.
LIU J Y,ZHANG Z X,ZHUANG D F,et al.A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J].Geographical Research,2003,22(1):1-12.
- [3] 何剑锋,庄大方.长江三角洲地区城镇时空动态格局及其环境效应[J].地理研究,2006,25(3):388-396.
HE J F,ZHUANG D F.Analysis of the relationship between urban dynamic change pattern of the Yangtze River Delta and the regional eco-environment[J].Geographical Research,2006,25(3):388-396.
- [4] 李文亮,张丽娟,陈红,等.哈尔滨市城市扩展与地表热环境变化关系研究[J].地域研究与开发,2010,29(2):49-52.
LI W L,ZHANG L J,CHEN H,et al.Study on the relationship between urban expansion and land surface thermal environment change in Harbin city[J].Areal Research and Development,2010,29(2):49-52.
- [5] 何春阳,李景刚,陈晋,等.基于夜间灯光数据的环渤海地区城市化过程[J].地理学报,2005,60(3):409-417.
HE C Y,LI J G,CHEN J,et al.The urbanization model and process in Bohai Sea surrounding area in the 1990s by using DMSP/OLS data[J].Acta Geographica Sinica,2005,60(3):409-417.
- [6] 卓莉,陈晋,史培军,等.基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟[J].地理学报,2005,60(2):266-276.
ZHUO L,CHEN J,SHI P J,et al.Modeling population density of China in 1998 based on DMSP/OLS nighttime light image[J].Acta Geographica Sinica,2005,60(2):266-276.
- [7] 卓莉,史培军,陈晋,等.20 世纪 90 年代中国城市时空变化特征—基于灯光指数 CNLI 方法的探讨[J].地理学报,2003,58(6):893-902.
ZHUO L,SHI P J,CHEN J,et al.Application of compound night light index derived from DMSP/OLS data to urbanization analysis in China in the 1990s[J].Acta Geographica Sinica,2003,58(6):893-902.
- [8] 舒松,余柏菡,吴健平,等.基于夜间灯光数据的城市建成区提取方法评价与应用[J].遥感技术与应用,2011,26(2):169-176.
SHU S,YU B L,WU J P,et al.Methods for deriving urban built-up area using night-light data:assessment and application[J].Remote Sensing Technology and Application,2011,26(2):169-176.
- [9] 米晓楠,白林燕,谭雪航,等.基于 DMSP/OLS 数据的城市中心城区提取新方法[J].地球信息科学学报,2013,15(2):255-261.
MI X N,BAI L Y,TAN X H,et al.A new method of extracting areas of center city regions based on DMSP/OLS data[J].Journal of Geo-Information Science,2013,15(2):255-261.
- [10] IMHOFF M L,LAWRENCE W T,STUTZER D C,et al.A technique for using composite DMSP/OLS “City Lights” satellite data to accurately map urban areas[J].Remote Sensing of Environment,1997,61(3):361-370.
- [11] HENDERSON M,YEH E T,GONG P,et al.Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery[J].International Journal of Remote Sensing,

- 2003,24(3):595-609.
- [12] IMHOFF M L, LAWRENCE W T, ELVIDGE C D, et al. Using nighttime DMSP/OLS images of city lights to estimate the impact of urban land use on soil resources in the U.S.[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59(1): 105-117.
- [13] SMALL C, POZZI F, ELVIDGE C D. Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 96(3): 277-291.
- [14] 朱康文, 李月臣, 刘春霞, 等. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的县域建成区的提取方法研究——以重庆市为例[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 32(6): 61-67.
ZHU K W, LI Y C, LIU C X, et al. The research of extraction method for built-up areas in county scale based on DMSP/OLS nighttime lights data: a case study of Chongqing[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2015, 32(6): 61-67.
- [15] 王鹤饶, 郑新奇, 袁涛. DMSP/OLS数据应用研究综述[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(1): 11-19.
WANG H R, ZHENG X Q, YUAN T. Overview of researches based on DMSP/OLS nighttime light data[J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(1): 11-19.
- [16] 甘斌, 杨耘. 基于DMSP/OLS数据的城市建成区变化信息提取方法——以陕西省为例[J]. *城市勘测*, 2014(3): 5-9.
GAN B, YANG Y. The Study on urban built-up change information extraction method using DMSP /OLS data: a case study of Shaanxi province[J]. *Urban Geotechnical Investigation & Surveying*, 2014(3): 5-9.
- [17] 李景刚, 何春阳, 史培军, 等. 基于DMSP/OLS灯光数据的快速城市化过程的生态效应评价研究——以环渤海城市群地区为例[J]. *遥感学报*, 2007, 11(1): 115-126.
LI J G, HE C Y, SHI P J, et al. The use of multisource satellite and eospatial data to study the ecological effects of urbanization: a case of the urban agglomerations in Bohairian[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(1): 115-126.
- [18] 刘沁萍, 杨永春, 付冬暇, 等. 基于DMSP/OLS灯光数据的1992—2010年中国城市空间扩张研究[J]. *地理科学*, 2014, 34(2): 129-136.
LIU Q P, YANG Y C, FU D X, et al. Urban spatial expansion based on DMSP/OLS nighttime light data in China in 1992—2010 [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(2): 129-136.
- [19] 毛卫华, 胡德勇, 曹冉, 等. 利用MODIS产品和DMSP/OLS夜间灯光数据监测城市扩张[J]. *地理研究*, 2013, 32(7): 1325-1335.
MAO W H, HU D Y, CAO R, et al. Monitoring urban expansion of Zhejiang Province using MODIS/EVI data products and DMSP/OLS nighttime light data[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(7): 1325-1335.
- [20] 苏泳娴, 陈修治, 叶玉瑶, 等. 基于夜间灯光数据的中国能源消费碳排放特征及机理[J]. *地理学报*, 2013, 68(11): 1513-1526.
SU Y X, CHEN X Z, YE Y Y, et al. The characteristics and mechanisms of carbon emissions from energy consumption in China using DMSP/OLS night light imageries [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(11): 1513-1526.
- [21] 杨妮, 吴良林, 邓树林, 等. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的省域GDP统计数据空间化方法——以广西壮族自治区为例[J]. *地理与地理信息科学*, 2014, 30(4): 108-111.
YANG N, WU L L, DENG S L, et al. Spatialization method of provincial statistical GDP data based on DMSP/OLS night lighting data: a case study of Guangxi Zhuang Autonomous region[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2014, 30(4): 108-111.
- [22] LIU Z, HE C, ZHANG Q, et al. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008 [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1): 62-72.
- [23] 王晓慧, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 基于DMSP/OLS数据的中国大尺度城镇用地信息提取[J]. *国土资源遥感*, 2013, 25(3): 159-164.
WANG X H, XIAO P F, FENG X Z, et al. Extraction of large-scale urban area information in China using DMSP/OLS nighttime light data[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2013, 25(3): 159-164.
- [24] 陈征, 胡德勇, 曾文华, 等. 基于TM图像和夜间灯光数据的区域城镇扩张监测——以浙江省为例[J]. *国土资源遥感*, 2014, 26(1): 83-89.
CHEN Z, HU D Y, ZENG W H, et al. TM image and nighttime light data to monitoring regional urban expansion: a case study of Zhejiang Province[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2014, 26(1): 83-89.
- [25] 吴健生, 刘浩, 彭建, 等. 中国城市体系等级结构及其空间格局——基于DMSP/OLS夜间灯光数据的实证[J]. *地理学报*, 2014, 69(6): 759-770.
WU J S, LIU H, PENG J, et al. Hierarchical structure and spatial pattern of China's urban system: Evidence from DMSP/OLS nightlight data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(6): 759-770.
- [26] 吴健生, 牛妍, 彭建, 等. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的1995—2009年中国地级市能源消费动态[J]. *地理研究*, 2014, 33(4): 625-634.
WU J S, NIU Y, PENG J, et al. Research on energy consumption dynamic among prefecture-level cities in China based on DMSP/OLS nighttime light [J]. *Geographical Research*, 2014, 33(4): 625-634.
- [27] 卓莉, 李强, 史培军, 等. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型[J]. *地理学报*, 2006, 61(2): 169-178.

ZHUO L, LI Q, SHI P J, et al. Identification and characteristics analysis of urban land expansion types in China in the 1990s using DMSP/OLS data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(2): 169-178.

[J]. *经济地理*, 2010, 30(6): 912-917.

PENG Y, LU Y Q. Spatio-temporal evolvement of regional economic development disparities in Cheng-Yu economic zone[J]. *Economic Geography*, 2010, 30(6): 912-917.

[28] 彭颖, 陆玉麒. 成渝经济区经济发展差异的时空演变分析

Research on the Urban Expansion in Chengdu-Chongqing Economic Zone Based on DMSP/OLS Nighttime Light Data in Recent 20 years

LIU Chunxia^{1,2,3}, ZHU Kangwen⁴, LI Yuechen^{1,2,3}

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Chongqing Key Laboratory of GIS Application, Chongqing 401331; 3. Institute of Eco-Environmental Remote Sensing in Three Gorges Reservoir Region, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

4. Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 400020, China)

Abstract: [Purposes] It aims to analyze the urbanization process and understand the trends of urban development of Chengdu-Chongqing economic zone. [Methods] DMSP/OLS nighttime light data from 1992 to 2012 and the Statistical Yearbook from 1992 to 2012 are used in this study. The use of "First denoising and further divided" ideas to extract the optimal threshold lights data. In order to analysis and research urbanization expansion situation about Chengdu-Chongqing economic zone, and use urbanization change types, gravity shift index, night index, urbanization index and cluster analysis to resolve it. [Findings] Firstly, the extraction error was 0 to 0.04 with this method. Secondly, during the 1997 to 2007 period, the expansion area's increase speed was the least in the Sichuan and Chongqing region. Meanwhile, the increase speed was decreased in Sichuan section and increased in Chongqing section. Tertiary, during the 1992 to 2012 period, the gravity of whole urbanization area was fluctuation in the southeast. At the meantime, the gravity of urbanization area and expansion area in Sichuan section was move to Chengdu first and turn to Mianyang later, the gravity was fluctuation in the northeast and the move speed was faster. Fourth, in recent 20 years, the i type of urban development was main style in Sichuan and Chongqing region. Chongqing was belong to the ii type in 2002 and Sichuan was belong to the iii type in 2007. The increases rate of urbanization development was different in each region in each period. [Conclusions] The economic development too focused on urban area of Chongqing and Chengdu, and is a non-benign development model. It should focus on multipolar development and enhance the urbanization level of the underdeveloped regions such as Western Sichuan and Northeast Chongqing. This study results have good reference value for urbanization development research about intra-regional and inter-regional, and it have a good significance to urbanization development decisions.

Keywords: DMSP/OLS nighttime light data; urban expansion; night index; cluster analysis; Chengdu-Chongqing economic zone

(责任编辑 许 甲)