



桂林理工大学学报
Journal of Guilin University of Technology
ISSN 1674-9057, CN 45-1375/N

《桂林理工大学学报》网络首发论文

题目: 基于多时相夜间灯光和光学遥感的广西城市格局时空动态变化
作者: 蓝斐芜, 付波霖, 何宏昌, 刘曼, 高二涛, 范冬林
收稿日期: 2020-06-28
网络首发日期: 2021-03-05
引用格式: 蓝斐芜, 付波霖, 何宏昌, 刘曼, 高二涛, 范冬林. 基于多时相夜间灯光和光学遥感的广西城市格局时空动态变化. 桂林理工大学学报.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1375.n.20210304.1551.006.html>



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。

基于多时相夜间灯光和光学遥感的广西城市格局时空动态变化

蓝斐芩, 付波霖, 何宏昌, 刘 曼, 高二涛, 范冬林

(桂林理工大学 测绘地理信息学院, 广西 桂林 541006)

摘 要: 以广西桂林、柳州、南宁 3 个主要城市的建成区为研究区, 利用阈值分割法分别对 DMSP/OLS、NPP/VIIRS、Landsat 数据提取城市建成区, 根据灯光总强度指数 (TNL)、平均灯光强度指数 (ULL) 以及综合夜间灯光强度指数 (CNLI) 的灯光特性分析广西三城城市化水平, 通过计算光学影像的归一化建筑指数 (NDBI)、建筑用地指数 (IBI)、仿建筑用地指数 (SIBI)、综合加权建筑指数 G 采用阈值法提取 3 个城市 1992、2000、2009 和 2017 四个时间段的建成区, 最后利用城市扩张速率、强度指数和空间重心位置转移定量分析 25 年来广西三大主要城市建城区时空演变特征。结果表明: (1) 广西城市化水平不断提高。(2) 利用陆地卫星遥感与夜光遥感对城市建成区提取具有一定可信度。陆地卫星提取的总体准确精度达到了 93%, 但提取的整体精度比夜光遥感低, 夜间灯光数据的总体精度都在 83% 以上, 总体精度达到了 96%。(3) 广西三大主要城市的城市化进程速度在加快。南宁在 1992—2017 年城市扩展速度由 11.88 上升至 34.4, 柳州在 1992—2017 年期间由 6.95 上升至 21.74, 桂林在 1992—2017 年期间扩展速度由 8.11 上升至 16.74。以上结果同时说明了广西城市发展整体呈现上升趋势, 建成区的空间扩展范围随时间推移表现出高强度增长模式, 这与广西规划的城市化进程发展趋势一致。

关键词: 城市格局; DMSP/OLS; NPP/VIIRS; 建筑指数; 灯光指数; 动态分析

0 引 言

改革开放至今, 我国一直处于城市化高速增长的阶段, 在 1992—2017 年的 25 年间, 中国城镇化率从 27.46% 增到 58.52%, 且呈现持续上涨的态势。广西城镇之间发展不均衡现象显著, 2017 年广西城市人口城镇化率为 49.21%, 处于全国中下水平, 城市格局远未成型。为了提高广西城市化, 合理规划土地资源的利用, 缩短广西与全国城市化发展的差距, 必须掌握广西城市空间格局分布信息。

应用遥感技术做城市化研究具有较大的优势和便利性, 弥补了统计数据不利于动态监测的缺点。20 世纪 80 年代后期, 成像光谱仪的应用领域广泛, 充分显示了遥感技术的应用前景和发展前途, 尤其是光学遥感在城市化监测的运用吸引了人们的高度关注^[1-3], 但大多数都是趋于多光谱遥感的城市化研究。直至夜间灯光遥感的出现, 国内学者开始向夜光遥感的多元化如城镇化研究^[4]: 程熙等^[5]利用夜间灯光强度的分布特征与不透水面覆盖的密切相关性集成夜间灯光数据与 Landsat TM 影像提取不透水面信息; 马瑞雪等^[6-7]计算不同灯光指数构建 GDP 的最佳回归模型。夜间灯光遥感始于 1997 年, Imhoff 等为了估计城市土地对美国土地资源的影响, 首次选择了夜间灯光数据作为研究数据, 开辟了夜间灯光数据的研究领域^[8], 国外关于夜光遥感技术发展十分活跃^[9-12], 而国内夜间灯光的研究起步较晚, 但是一批研究者已经熟练地将夜光数据应用于中国区域, 宋善海等^[13]对比不同地形背景下的山区与平原地区夜间灯光强度分布的空间特征; 李景刚等^[14]就 DMSP/OLS 夜间灯光数据和 SPOT/VGT 时间

收稿时间: 2020-06-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41801071); 广西自然科学基金项目 (2018GXNSFBA281015); 广西科技基地和人才专项 (桂科 AD20159037); 广西八桂学者团队专项经费项目

作者简介: 蓝斐芩 (1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 遥感大数据处理与应用, 1061969834@qq.com。

通讯作者: 付波霖, 博士, 副教授, fbl2012@126.com。

序列数据等多源遥感信息，探讨了环渤海城市群地区城市化过程对植被初级生产力的季节性变化影响；江威等^[15]对比 NPP/VIIRS 数据和 DMSP/OLS 数据的特点，提出对比两种夜间灯光数据模拟社会经济参量的潜力；王若曦等^[16]提出结合 DMSP/OLS 和 Landsat 数据对江西省进行建成区提取研究，多源遥感数据的结合进行城市化研究具有更高可信度。

本文从城市发展进程出发，以广西南宁、柳州、桂林为例，在 1992—2013 年 DMSP/OLS、1994—2017 年 NPP/VIIRS 夜光遥感卫星数据与 1991—2017 年 Landsat 多光谱影像的支持下，综合夜间灯光指数和光学建筑指数定量分析广西 1992—2017 年城市格局时空演化特征，为广西数字城市和生态城市建设提供技术和理论支撑，对揭示广西城市化扩张规律、定量分析广西城市化水平、结合多种遥感数据应用于城市化监测等具有一定的参考价值和意义。

1 研究区概况

南宁市（22°12′—24°02′N、107°19′—109°38′E）、柳州市（23°54′—26°03′N、108°32′—110° 28′E）、桂林市（24°15′—26°23′N、109°36′—111°29′E）三城分别是广西壮族自治区的首府城市、工业城市、旅游城市，其中南宁地处广西中部偏南，全市面积为 22 112 km²；柳州地处广西中北部，全市面积为 18 618 km²；桂林地处广西东北部，全市面积为 2.77 万 km²（图 1）。广西是沿海唯一的自治区，紧邻广东，该地区城市化水平在全国各个省中整体相对较低，根据统计数据，2017 年广西城镇化率低于全国城镇率（58.52%）大约 9%，处于全国中下水平，城市规模小，小城镇难以发展成城市规模^[17]。



图 1 广西 2017 年夜间灯光遥感图

Fig.1 Night-light remote sensing image of Guangxi in 2017

2 数据源及预处理

2.1 数据源

（1）夜间灯光遥感数据。夜间灯光数据是由美国气象管理局（NOAA）提供的全球大尺度范围的灯光栅格影像。该数据有两种不同传感器的数字产品：1）1992—2013 年的 DMSP/OLS 数据由 DMSP 卫星搭载的线性扫描仪 OLS 拍摄，DMSP/OLS 已经经过云及火光等偶然噪声影响的消除，同时对全年灰度值进行了直接平均化处理，因

此下载之后可直接应用于相关研究；2）2013—2017 年夜间灯光数据由 NPP 卫星搭载的更高分辨率（500 m）的可见光红外成像辐射仪 VIIRS 提供，与 DMSP/OLS 探测器相比，解决了灯光值过度饱和从而溢裂的问题。两种夜间灯光数据搭配使用对长时间序列的研究具有更高的应用价值，因此被广泛应用于城市化和火灾的监测研究。本文研究采用广西 1992—2013 年 F101992、F152000、F162009 三期 DMSP/OLS 数据和 2017 年 NPP/VIIRS 月合成数据共 4 期灯光数据进行广西三城城市空间格局研究。

（2）光学遥感影像数据。本文 Landsat 系列光学遥感影像数据来源于中国科学院地理空间数据云平台（<http://www.Gscloud.cn/>），遥感数据下载了条带号为 125-44、125-43、124-43 的 12 景 Landsat 卫星影像，分别获取时间为 1992 年的 Landsat 5 TM 影像、2000 年的 Landsat 7 ETM+影像、2009 年 Landsat 5 TM 影像和 2017 年 Landsat 8 OLI 影像，且研究区城市上空无云覆盖，图像质量良好，城市建筑识别率高。

（3）辅助数据：1）广西行政区划数据。研究中所用到的掩膜数据是来自国家基础地理信息中心(<http://www.ngcc.cn/>)的广西省界、市界以及区县行政区划数据，坐标系为 WGS-84。2）统计年鉴数据。所用到的 1992、2000、2009 和 2017 年的城市建成区面积统计数据分别来自于国家统计局（<http://www.stats.gov.cn/>）的统计年鉴用于遥感提取建成区面积的对比验证，见表 1。

表 1 夜光遥感和光学遥感数据技术参数

| Table 1 Technical parameters of night-light and optical remote sensing data | | | | | |
|---|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 光学遥感数据 | 年份 | 1991 | 2000 | 2009 | 2017 |
| | 卫星 | Landsat 5 | Landsat 7 | Landsat 5 | Landsat 8 |
| | 传感器 | TM | ETM+ | TM | OLI |
| | 分辨率 | 30 m | 30 m | 30 m | 30 m |
| | 条带号 | 124-43 | 124-43 | 124-43 | 124-43 |
| | | 125-43 | 125-43 | 125-43 | 125-43 |
| | | 125-44 | 125-44 | 125-44 | 125-44 |
| | 年份 | 1992 | 2000 | 2009 | 2017 |
| 光学遥感数据 | 参数 | DMSP | DMSP | DMSP | NPP |
| | 传感器 | OLS | OLS | OLS | VIIRS |
| | 分辨率 | 1 km | 1 km | 1 km | 0.5 km |

2.2 数据预处理

利用 ArcGIS 10.6 软件将 1992—2017 年夜间灯光数据坐标系转换为 WGS 1984 UTM 投影坐标系，然后在全球夜间灯光数据基础上，利用南宁、柳州、桂林行政边界矢量图层作为掩膜数据裁剪出 3 个城市的夜间灯光影像。

利用 ENVI 5.3 对 1991 年 Landsat 5 TM、2000 年 Landsat 7 ETM+、2009 年 Landsat 5 TM、2017 年 Landsat 8 OLI 4 期光学遥感数据进行投影变换、几何校正处理，同时为了提高数据的质量和可比性，消除光照和大气等地物反射的影响，对四期 Landsat 数据进行辐射定标、大气校正操作，最后根据研究区域建立感兴趣区域进行裁剪。

针对 DMSP/OLS 灯光数据不同年份、不同传感器之间缺乏可比性、连续性的问题，本文采用不变区域法^[18]对 1992—2009 年 3 期 DMSP/OLS 夜间灯光影像进行相互定标，其中待校正夜间灯光影像与参考影像的幂函数方

程为

$$DN' = a \times (DN + 1)^b - 1 \quad , \tag{1}$$

式中： DN 、 DN' 分别为待校正影像数据、参考影像数据的灰度值， a 、 b 为拟合过程中确定的参数，见表 2。

表 2 多传感器影像 DN 值校正的回归模型参数

Table 2 Regression model parameters for DN correction of multi-sensor images

| 卫星序号 | 校正年份 | a | b | R^2 |
|------|------|---------|---------|---------|
| F10 | 1992 | 0.895 9 | 1.031 0 | 0.949 2 |
| F10 | 1993 | 0.682 1 | 1.118 1 | 0.873 1 |
| F14 | 2000 | 0.988 5 | 1.070 2 | 0.904 7 |
| F14 | 2001 | 0.802 8 | 1.085 5 | 0.970 6 |
| F15 | 2000 | 0.928 2 | 1.092 8 | 0.924 2 |
| F15 | 2001 | 0.867 8 | 1.064 6 | 0.870 0 |
| F16 | 2009 | 1.463 7 | 0.985 8 | 0.873 5 |
| F18 | 2010 | 0.811 4 | 1.084 9 | 0.954 2 |

基于 Wu 的不变区域改进法采用幂函数模型获取传感器校正系数，选择的参考影像没有饱和，校正图像趋向于饱和校正，整个时间序列非常稳定，因此这个方法既可以进行相对辐射定标，又可以进行饱和校正，在中国区域的校正精度也很好。近年来，我国经济持续发展，城市规模高强度扩张，城市群的建成区也是在持续扩张中，夜间灯光影像前一时期的夜间灯光在后一时期也不会消失或变暗，即后一年影像数据的 DN 值等于或者大于前一年影像数据，因此在进行影像逐年校正时，将校正图像和后一年图像进行叠加作为掩膜数据，去除校正图像的噪声，得到各期影像校正后的目标灯光影像，如图 2 所示。

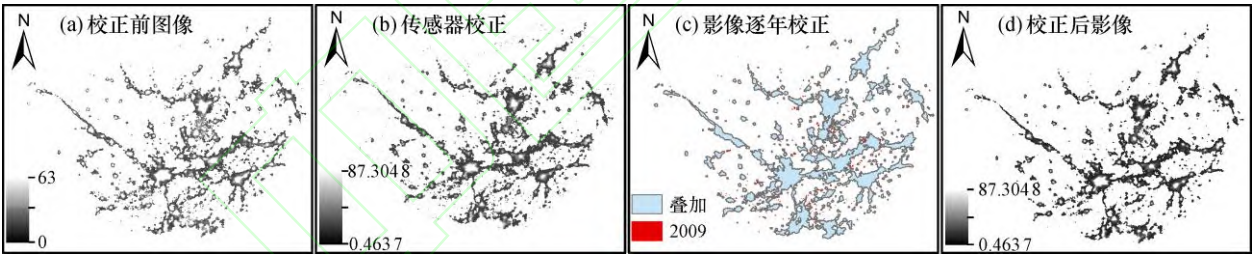


图 2 2009 年 DMSP/OLS 数据校正过程

Fig. 2 Correction process of DMSP/OLS data in 2009

本文采用隔离噪声的方法^[19-20]提取有效的灯光值，由于美国官方已经对 2016 年年平均数据进行了灯光异常值和背景噪声的剔除，将 2016 年 NPP/VIIRS 年均合成夜间灯光数据作为掩膜数据对 2017 年 NPP/VIIRS 月平均合成夜间灯光数据进行校正，剔除 2017 年月平均数据中的异常亮度值和噪声值，由于 DMSP/OLS 数据和 NPP/VIIRS 数据之间存在明显的相关性，通过拟合消除两种数据光谱响应方式和卫星传感器参数等差异带来的差别，实现两种数据的匹配，具体公式为

$$DN_{校正后} = 24.06DN_{校正前}^{0.4782} - 3.299 \quad , \tag{2}$$

式中： DN 表示 NPP/VIIRS 数据的灰度值。图 3 是 2017 年南宁市 NPP/VIIRS 数据拟合前后对比。

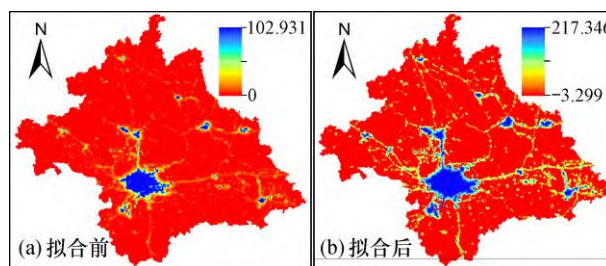


图 3 2017 年南宁市 NPP/VIIRS 数据拟合前后对比

Fig.3 Comparison of NPP/VIIRS data before and after fitting in Nanning in 2017

3 研究方法

针对该研究区域的两种类型遥感图像，基于 Landsat 系列影像的光学遥感建筑指数分割法和夜间灯光数据的二分迭代分割区域法提取研究区城市用地信息。对比夜间灯光数据和国家统计局的建成区面积统计数据，确定最佳阈值，通过二分迭代法设定最佳阈值进行城市化信息提取。Landsat 构建 3 个建筑指数来提取城市信息，包含归一化建筑指数 NDBI、仿建筑指数 SIBI、建筑用地指数 IBI。多个指数参与计算可以增强城市建成区信息，同时也会抑制由裸土、城市、水体等地物波谱信息相似而造成背景干扰噪声的非城市区域信息，而阈值法则是需要通过设定合适阈值分离城市与非城市，即可输出城市建筑用地信息提取结果。从空间角度出发，重建广西 25 年间城市化进程，即乡村区域向城镇区域转化的过程，最后对广西 25 年间城市空间演化过程进行系统分析（图 4）。

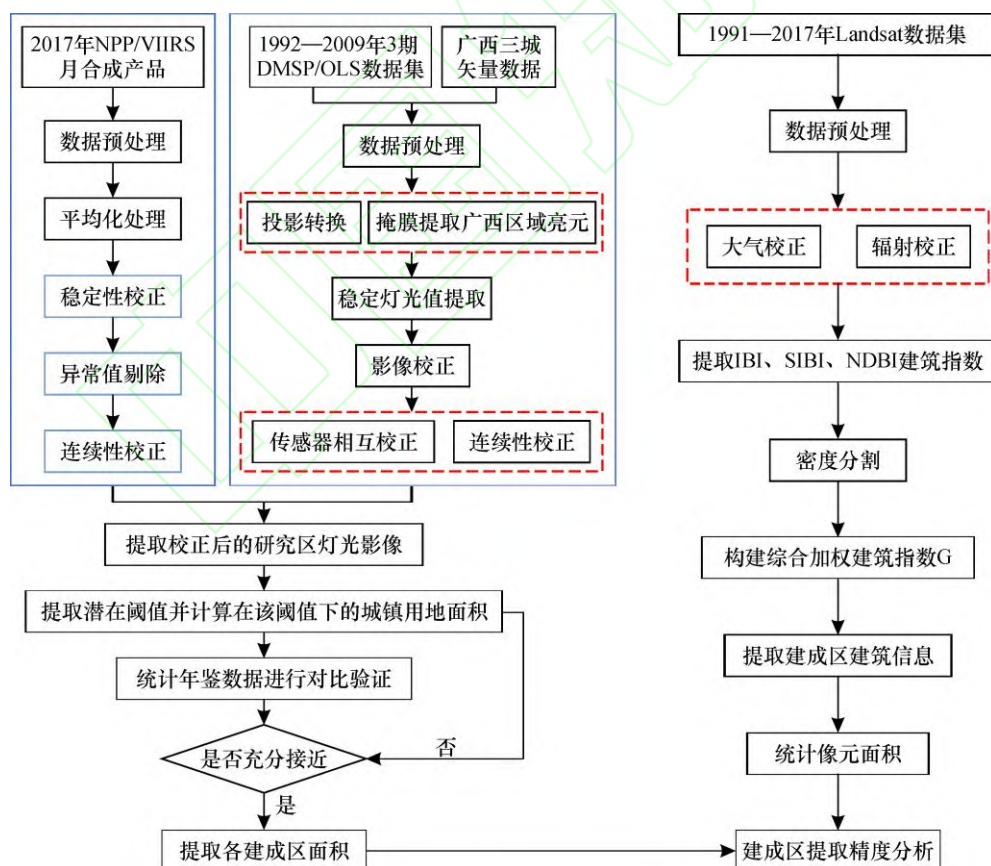


图 4 建成区提取与时空动态分析技术流程图

Fig.4 Technical flowchart of built-up areas extraction and temporal-spatial dynamic analysis

3.1 综合灯光指数的建立

目前，夜间灯光遥感在城市化研究中大多使用以表示该区域的灯光特性的灯光总强度指数（TNL）、平均灯光

强度指数(ULL)以及综合夜间灯光强度指数 (CNLI) [21-24], 一般认为 DN 值大于零的区域为有效灯光区域, 有灯光的地方极有可能是城市建成区, 且灯光指数越强的地区城市规模越大, 因此, 利用灯光指数对广西城市化水平进行分析具有一定可信度。综合夜间灯光强度 CNLI 是指该区域灯光总强度与该区域中理论最大灯光亮度之比 I (即平均相对灯光强度) 和提取的建成区面积与区域总面积比值 S 的乘积 (表 3), 计算公式如下:

灯光总强度 TNL

$$TNL = \sum_{i=DN_{min}}^{DN_{max}} (DN_i \times n_i) \quad ; \tag{3}$$

平均相对灯光强度 I

$$I = \sum_{i=1}^{DN_{max}} (\frac{DN_i \times n_i}{DN_{max} \times N}) \quad ; \tag{4}$$

综合灯光指数 CNLI

$$CNLI = I \times S \quad ; \tag{5}$$

$$S = \frac{A_N}{A} \quad 。 \tag{6}$$

式中: DN_i 表示该影像第 i 个栅格像元灰度值; DN_{max} 为最大可能灰度值 (数字产品理论中的最大值); n_i 为地区内该灰度级像元总数; N 表示该区域像元总数, 像元值属于 $DN_{max} \geq DN \geq 1$ 这个范围; A_N 表示区域内提取的灯光像元的总面积; A 表示区域总面积。

表 3 广西三城 1992—2017 年 I 、 S 、 $CNLI$ 数据统计

Table 3 Statistics of I , S and $CNLI$ in the three cities of Guangxi province from 1992 to 2017

| 时间 | 南宁 | | | 柳州 | | | 桂林 | | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | I | S | $CNLI$ | I | S | $CNLI$ | I | S | $CNLI$ |
| 1992 | 0.377 6 | 0.003 2 | 0.001 2 | 0.366 5 | 0.004 5 | 0.001 6 | 0.314 7 | 0.001 3 | 0.000 4 |
| 2000 | 0.450 6 | 0.004 4 | 0.001 9 | 0.389 0 | 0.005 0 | 0.001 9 | 0.305 6 | 0.002 0 | 0.000 6 |
| 2009 | 0.481 8 | 0.009 5 | 0.004 6 | 0.416 0 | 0.007 2 | 0.003 0 | 0.321 3 | 0.002 3 | 0.000 7 |
| 2017 | 0.510 2 | 0.013 9 | 0.007 1 | 0.430 7 | 0.010 1 | 0.004 4 | 0.383 7 | 0.003 8 | 0.001 5 |

对 3 个城市灯光指数的观察, 1992 年, 柳州综合灯光指数为 0.001 6, 高于南宁和桂林, 说明 1992 年广西柳州城市化水平最高; 1992—2000 年期间, 南宁和柳州的综合灯光指数同为 0.001 9, 说明南宁经济发展速度追上柳州, 并且发展速度快; 2000—2009 年间, 南宁综合灯光指数为 0.004 6, 远远高于柳州的 0.003 0, 而桂林经济发展十分缓慢, 综合灯光指数仅为 0.000 7; 2017 年南宁综合灯光指数达到最高值 (0.007 1), 柳州次之, 为 0.004 4, 而桂林最低, 仅为 0.001 5, 城市化水平远远落后于南宁和柳州。

2017 年, 南宁的城市化水平发展迅速, 已经远远高于其它两个城市的城市化水平, 是广西目前城市化水平最高的城市, 桂林的综合灯光指数数值最小, 并且缓慢增加, 说明桂林的城市化水平相对偏低。再依据每个城市 1992—2017 年这 25 年间的综合灯光指数的最大值和最小值可以得出, 3 个城市整体上的城市化水平都在不断上升,

且都在 2000 年之后城市化发展进程加快，说明广西的城市化进程正在不断向前发展。

3.2 城市建成区信息提取

3.2.1 基于夜间灯光数据的建成区提取 本文采用相对简单且精确度高的二分迭代法^[25]确定灯光的最佳阈值，该方法通过设定一系列灯光阈值，将基于该灯光阈值提取出的城市建成区面积与广西各地级市行政单元的统计数据中建成区面积进行逐个比对，计算误差最小值时的阈值作为最佳阈值（表 4），然后基于此最佳阈值分别提取广西南宁、柳州和桂林三城的建成区范围（图 5）。

表 4 夜间灯光数据提取阈值

Table 4 Thresholds of night-light remote sensing image for extracting built-up areas

| 城市 | 1992 年 | 2000 年 | 2009 年 | 2017 年 |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 南宁 | 45 | 64 | 81 | 100 |
| 柳州 | 38 | 52 | 76 | 91 |
| 桂林 | 44 | 46 | 63 | 86 |

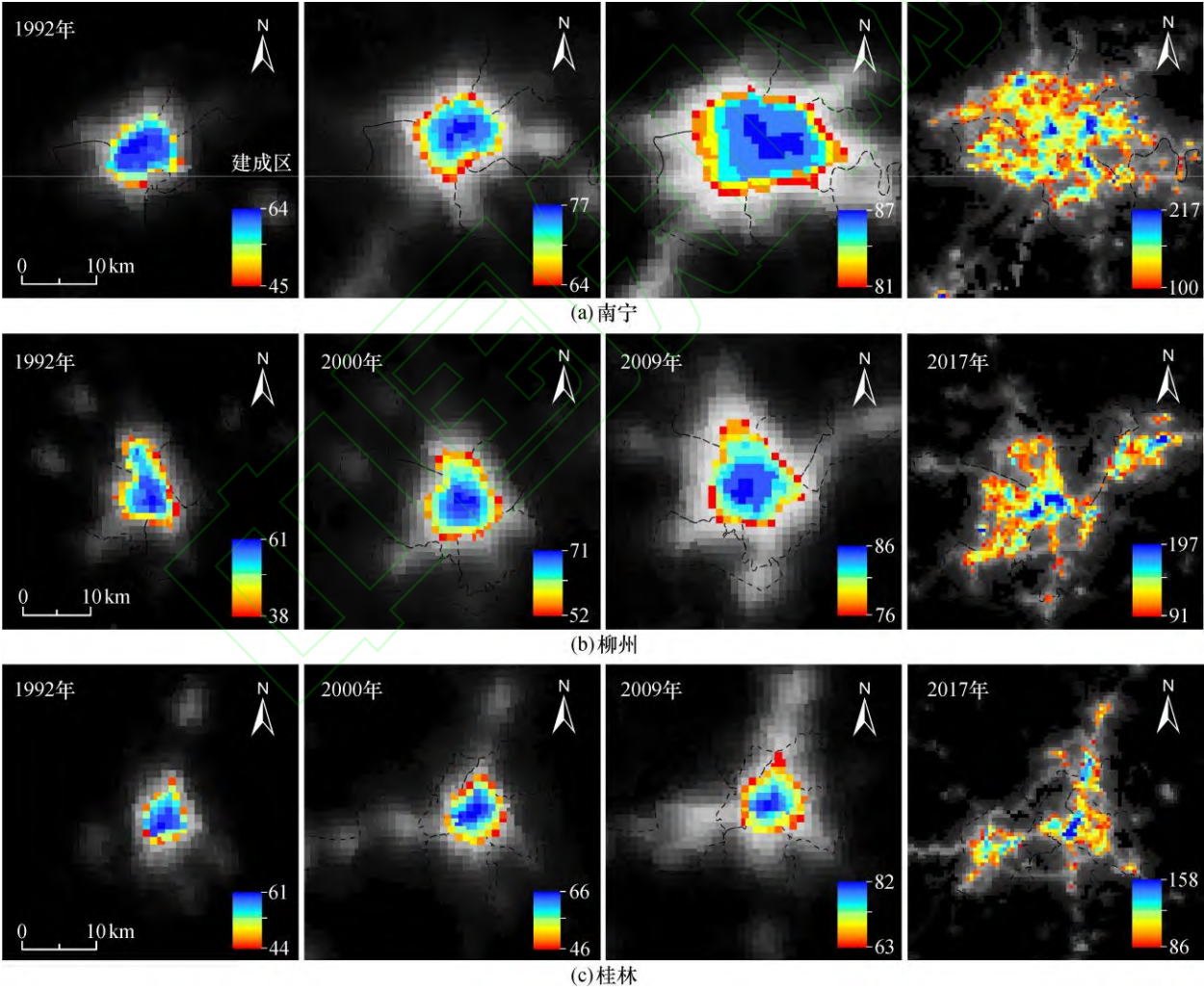


图 5 基于 1992—2017 年夜光遥感影像阈值提取 3 个城市建成区范围

Fig. 5 Extracting the range of built-up areas based on the threshold values of night-light remote sensing images from 1992 to 2017

3.2.2 基于光学建筑指数的建成区提取 广西的植被、山体、河流、城市等地物密切交错，只依靠阈值法提取城市建筑信息往往会出现噪声点多、地物错分的现象，精度也难以达到要求。针对此问题，本文在指数计算前加入监督分类，监督分类可以解决因裸露和城市光谱信息相似而造成干扰背景的问题，监督分类和指数分割都是提取城

市信息的两种方法，但监督分类主要依赖人的主观意识缺乏客观性，将两种方法结合起来，可以提高分离城市与非城市的精度。

本文指数分割阈值主要通过计算 3 个即可增强城市区域信息同时又抑制背景干扰的光学建筑指数（归一化建筑指数 $NDBI^{[26]}$ 、建筑用地指数 $IBI^{[27]}$ 、仿建筑用地指数 $SIBI^{[28]}$ ），然后通过灰度分割工具，经过与原始光学遥感影像进行反复比较影像来分离城市与非城市建成区。光学建筑指数具体计算过程如下：

1) 归一化建筑指数 $NDBI$

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \quad ; \tag{7}$$

2) 建筑用地指数 IBI 由 3 个波段专题指数（归一化建筑指数 $NDBI$ 、土壤调节指数 $SAVI$ 、改进归一化水体指数 $MNDWI$ ）计算得到

$$IBI = \frac{NDBI - (SAVI + MNDWI)}{NDBI + (SAVI + MNDWI)} \quad ; \tag{8}$$

3) 仿建筑用地指数 $SIBI$ 由归一化水体指数 $NDWI$ 、土壤调节指数 $SAVI$ 、改进归一化裸露指数 $MNDBI$ 3 个指数综合计算得到

$$SIBI = \frac{MNDBI - (SAVI + NDWI)}{MNDBI + (SAVI + NDWI)} \quad ; \tag{9}$$

式中： MIR 、 NIR 分别表示中红外波段、近红外波段。

3.2.3 基于综合加权光学建筑指数的建成区提取 根据归一化建筑指数 $NDBI$ 、仿建筑用地指数 $SIBI$ 、建筑用地指数 IBI 这 3 个可以反映城市建筑用地信息的光学建筑指数属性通过加权计算构建综合加权光学建筑指数 G ，其构建过程主要是确定每个光学建筑指数所搭配的权重系数，最后通过灰度分割得到最佳阈值（表 5）来获取城市建成区（图 6）。综合加权光学建筑指数计算公式为

$$G_{ij} = (NDBI_{ij} + IBI_{ij} + SIBI_{ij}) \times W_{ij} \tag{10}$$

式中： i 、 j 表示第 i 年城市 j ； G 代表综合加权光学建筑指数； W 分别是搭配指数计算的权重系数。在可参考指数计算后遥感图像的高亮显示的基础上，发现不同年份不同城市的不同指数的权重系数（表 6）都不同，因此权重系数需要根据真实操作过程确定。

表 5 基于光学建筑指数分割的阈值范围

Table 5 Threshold ranges derived from the segmentation of optical building index

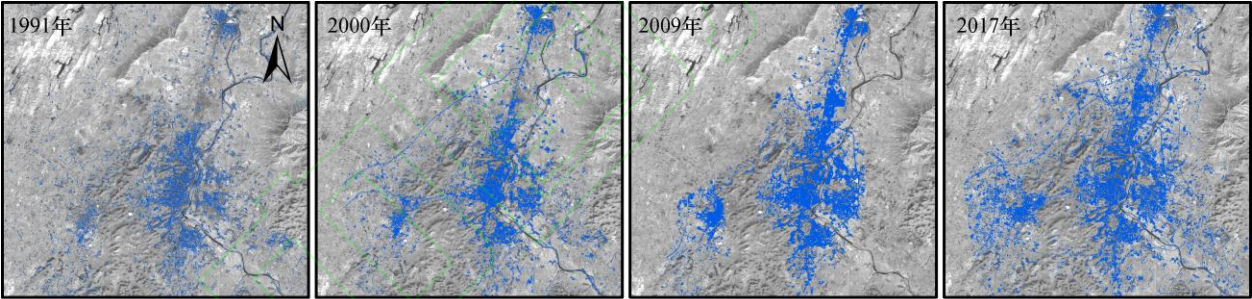
| 城市 | 年份 | 光学建筑指数 | | | |
|----|------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| | | IBI (min, max) | $NDBI$ (min, max) | $SIBI$ (min, max) | G (min, max) |
| 南宁 | 1991 | -15, 20 | -0.15, -0.001 | 0.65, 0.99 | 0.65, 1 |
| | 2000 | -20, 20 | -0.45, -0.001 | -0.35, 0.999 | 0.5, 1 |
| | 2009 | -10, 12 | -0.25, -0.001 | 0.6, 0.999 | 0.6, 1 |
| | 2017 | -1, 7 | -0.15, -0.001 | 0.6, 0.999 | 0.4, 1 |
| 柳州 | 1991 | -1.25, 12 | -0.22, -0.017 | 0.3, 0.9 | 0.7, 0.899 |
| | 2000 | -20, 20 | -0.6, -0.002 8 | 0, 0.999 | 0.000 1, 1 |
| | 2009 | -5, 9 | -0.15, -0.003 | 0.75, 0.999 | 0.6, 1 |

| | | | | | |
|----|------|---------------|--------------|---------------|------------|
| | 2017 | -10, 15 | -0.4, -0.02 | 0.5, 0.9999 | 0.6, 1 |
| 桂林 | 1991 | -1.062, 9 | -182, -0.034 | 0.6, 0.92 | 0.7, 1 |
| | 2000 | -2.5, 6.5 | -0.15, -0.03 | 0.75, 0.99 | 0.25, 0.85 |
| | 2009 | -5, 2.3 | -0.1, 0.001 | 0.75, 0.999 | 0.4, 1 |
| | 2017 | 0.65, 0.999 9 | 0.04, 0.24 | 0.65, 0.999 9 | 0.4, 1 |

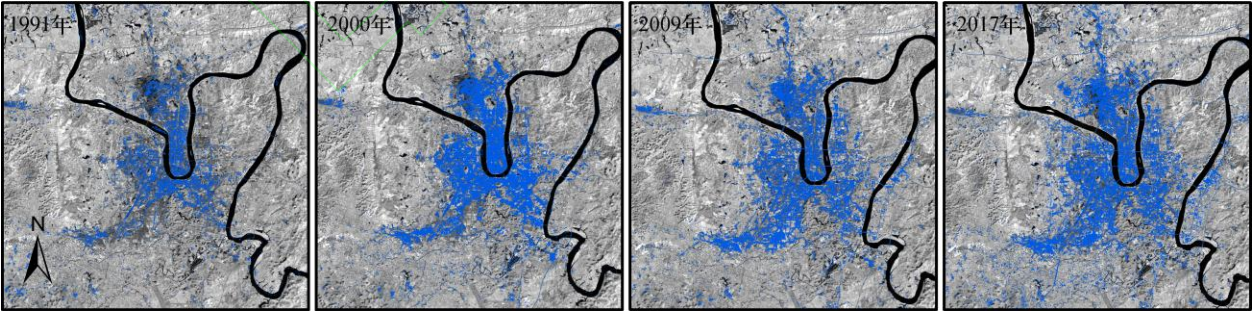
表 6 构建综合加权光学建筑指数的权重系数

Table 6 Weight coefficients for constructing a comprehensive weighted optical building index

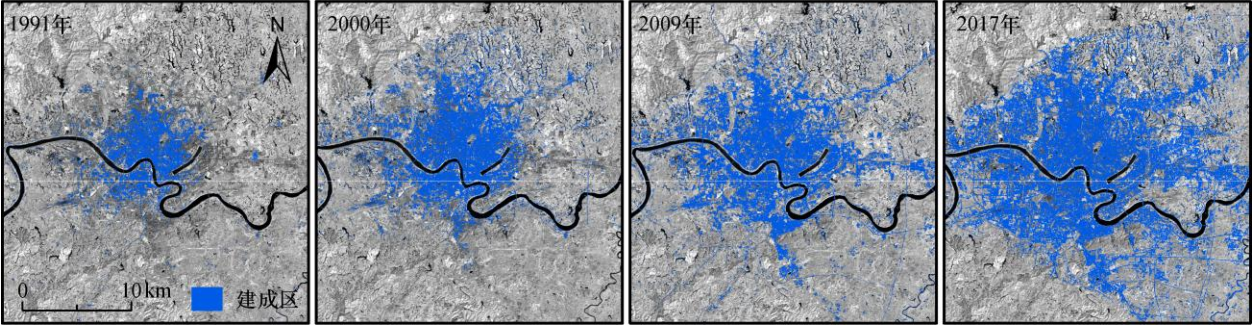
| 城市 | 年份 | 光学建筑指数 | | |
|----|------|-------------|------------|-------------|
| | | <i>NDBI</i> | <i>IBI</i> | <i>SIBI</i> |
| 南宁 | 1991 | 0.4 | 0.2 | 0.4 |
| | 2000 | 0.2 | 0.3 | 0.5 |
| | 2009 | 0.2 | 0.4 | 0.4 |
| | 2017 | 0.2 | 0.4 | 0.4 |
| 柳州 | 1991 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| | 2000 | 0.4 | 0.2 | 0.4 |
| | 2009 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| | 2017 | 0.4 | 0.2 | 0.4 |
| 桂林 | 1991 | 0.5 | 0.2 | 0.3 |
| | 2000 | 0.2 | 0.4 | 0.4 |
| | 2009 | 0.2 | 0.3 | 0.5 |
| | 2017 | 0.4 | 0.2 | 0.4 |



(a) 南宁



(b) 柳州



(c) 桂林

图 6 基于综合加权光学建筑指数 G 提取 1991—2017 年 3 个城市建成区

Fig. 6 Extraction of three built-up areas from 1991 to 2017 using comprehensive weighted optical building index G

3.3 建成区提取精度验证分析

为了分析夜间灯光数据和 Landsat 数据提取的建成区的精度差异,对照 Google Earth 高空间分辨率遥感影像,采用随机样方采点方法随机采取 800 个建成区样点和 500 个非建成区样点计算其总体分类精度,对建成区的空间分布特征及提取精度进行对比分析。

根据图 7,夜间灯光数据和 Landsat 数据提取建成区结果在空间分布上存在差别,对于广西三个主要城市区域,2017 年夜间灯光数据和 Landsat 数据提取的建成区结果精度相对准确,Landsat 数据提取的数据能更好的突出城市建成区的空间分布细节,而夜间灯光数据在提取过程中建成区和非建成区的边界存在相对较大的混淆,主要是由于 DMSP/OLS 数据、NPP/VIIRS 数据和 Landsat 数据之间分辨率相差比较大,因此,分析不同尺度遥感数据提取建成区的特征,是提高城市化进程时空变化分析的效率和精度的有效方法。Landsat 数据提取的柳州建成区,在空间分布上的精度略低于夜间灯光数据的结果,由于遥感数据的局限性,陆地卫星无法完全有效的检测建成区光谱特征,造成许多建成区的大量像元的漏分。在以后进一步的研究中,可以不断整合低、中、高、超高时空分辨率遥感数据提取城市光谱信息,研究不同遥感数据尺度下获取城市建成区的精度提升问题。

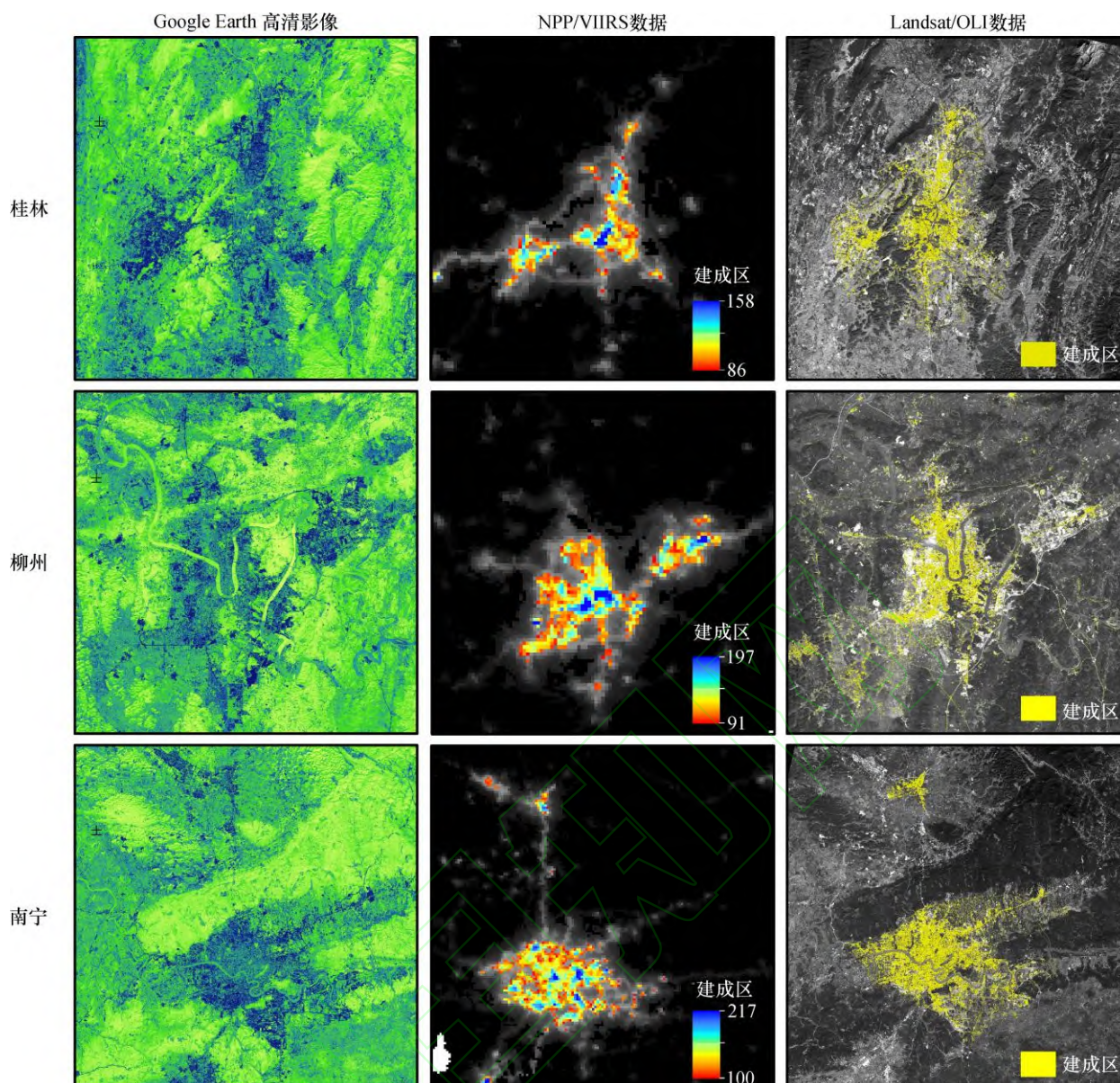


图 7 2017 年 3 个区域建成区提取结果与 Google Earth 对比

Fig7 Comparison of the extraction results of three regional built-up areas in 2017 with Google Earth

为了进一步分析 Landsat 数据和夜间灯光数据提取建成区的精度，利用总体分类精度分别评估 1992、2000、2009 和 2017 年 4 个阶段结果的准确性。如表 7 所示，Landsat 数据和夜间灯光数据提取建成区的结果的精度都达到了比较高的准确率，陆地卫星建成区提取结果的整体精度比夜光遥感低，夜间灯光数据的总体精度都在 83% 以上，总体精度达到了 96%，说明利用夜间灯光数据提取城市建筑用地信息具有一定精确度和可信度。1991 年 Landsat 数据提取的建成区结果总体精度较低，主要原因是广西的非建成区与建成区地物密切交错，提取城市建筑信息的过程往往会出现噪声点多、地物错分的现象，精度难以达到要求。

表 7 Landsat 数据和夜间灯光数据提取建成区的总体准确精度

Table 7 The overall accuracy of the built-up area extracted from Landsat data and night light data

| 数据年份 | Landsat 数据 | | | | 夜间灯光数据 | | | |
|------|------------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | 1991 | 2000 | 2009 | 2017 | 1992 | 2000 | 2009 | 2017 |
| 总体精度 | 0.78 | 0.87 | 0.83 | 0.93 | 0.83 | 0.90 | 0.88 | 0.96 |

将 Landsat 遥感数据提取的城市建成区面积与国家统计局的统计年鉴中广西三城的城镇建筑用地面积进行对比分析（表 8），同时将 Landsat TM/ETM+/OLI 数据提取的城市建筑分类结果与原始光学遥感图像叠加进行精度

评价，从全区尺度上分析广西城市空间分布情况和城市化进程。可知，Landsat 数据提取建成区的最小相对误差为 0.16%，最大相对误差为 6.66%，Landsat 数据提取 3 个区域的城市建成区的面积相对误差整体偏小，说明利用 Landsat 数据提取建成区也是一个有效的方法。再结合图 8 内容，本文以 2000 年柳州为例，采用 Landsat 数据的分类结果对比评价法，将 4 个光学建筑指数（IBI、NDBI、SIBI、G）提取的城市建成区基于原始光学遥感图像上进行对比评价，可以看出综合加权光学建筑指数提取的城市空间分布信息效果良好，并且较好抑制了河流、裸土、植被的干扰，与原始图像上的城市范围基本吻合。从遥感图像上的空间分布信息看出，每一个时期的城市规模都比前一时期大，说明广西城市化水平一直处于上涨的时期，但地区之间的发展也存在发展不均衡、城市化水平差异大的问题，南宁的城市扩展规模比柳州和桂林快速，桂林城市扩展速度相对较慢。两种数据提取的城市结果的验证精度都表征了 Landsat 数据和夜间灯光数据提取的建成区结果之间存在一定共性，同时从建成区的空间分布特征可以看出，广西市辖区在近 25 年内的城市规模整体上向外发散呈现扩张趋势，与广西建设规划的城市发展主导趋势吻合。

表 8 基于 1992—2017 年 Landsat 数据提取三市建成区的面积及相对误差

| Table 8 Area and relative error of the built-up areas of the three cities based on Landsat from 1992 to 2017 | | | | | | | | | km ² |
|--|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|----------|-----------------|
| 年份 | 南宁 | | | 柳州 | | | 桂林 | | |
| | 统计面积 | 提取面积 | 相对误差/% | 统计面积 | 提取面积 | 相对误差/% | 统计面积 | 提取面积 | 相对误差/% |
| 1992 | 71.00 | 75.729 6 | 6.66 | 83.00 | 80.672 4 | 2.8 | 38.00 | 38.062 8 | 0.16 |
| 2000 | 100.00 | 101.220 3 | 1.22 | 91.00 | 94.227 3 | 3.54 | 56.00 | 55.890 9 | 0.19 |
| 2009 | 215.00 | 206.344 8 | 4.02 | 135.00 | 128.915 1 | 4.50 | 63.00 | 67.189 5 | 6.65 |
| 2017 | 305.00 | 293.816 7 | 3.66 | 188.00 | 193.031 1 | 2.67 | 101.00 | 97.824 6 | 3.14 |

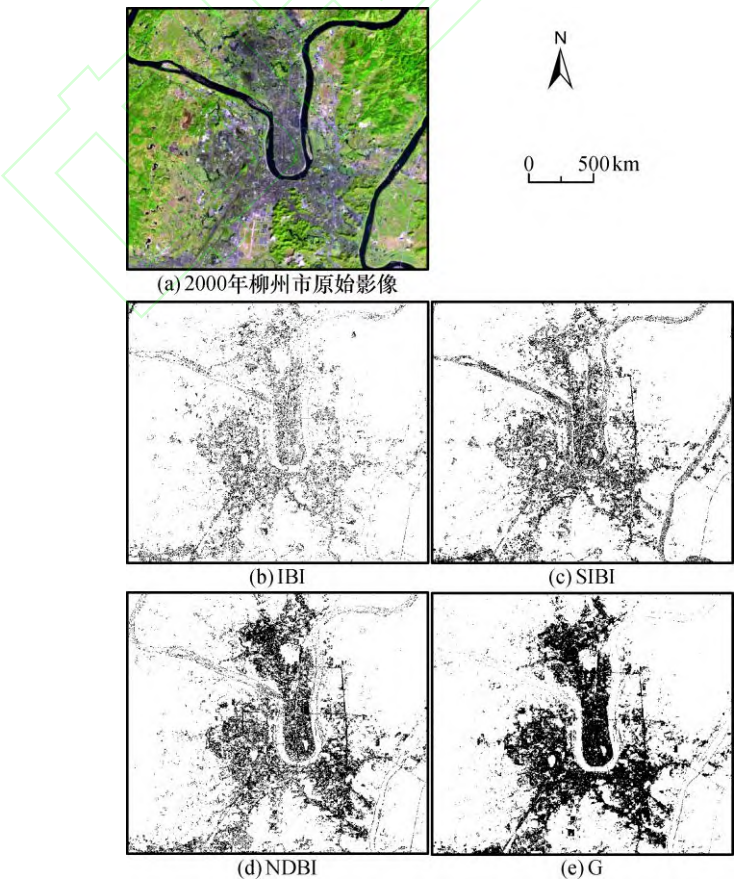


图8 2000年 Landsat 7 ETM+ 柳州基于4个建筑指数提取的结果对比

Fig.8 Comparison of built-area using four building indexes calculated by Landsat 7 ETM + image in 2000

4 基于夜光遥感与光学遥感的城市格局时空动态变化分析

为了探究广西南宁、柳州、桂林3个城市1992—2017年的城市建成区面积变化与扩张规模，定量分析了广西城市空间格局变化特征。广西的经济蓬勃区主要集中于广西的首府城市、工业城市、旅游城市三者之间，因此研究南宁、柳州、桂林三城从1992—2017年的城市化水平，就能重建对广西的城市格局时空演化特征。

4.1 广西城市扩张模式分析

根据夜间灯光数据提取的广西三城1992—2017年的城市扩张图（图9）对广西的城市建成区进行扩张模式分析。广西的发展模式以面状发展模式为主，点状和线状发展为辅。从1992—2009年这个时期，扩张图表现广西城市发展的形势为在原有城市发展过程的聚集效应上向外延展，主要形式为面状发展模式，但在2009—2017年这个时期，南宁除了主城区的面积不断扩大外，相邻地区的武鸣县、宾阳县、横县出现了点状发展模式的趋势。柳州和桂林也有相应的城市扩张新增点，包括柳州的柳城县、鹿寨县、融水苗族自治县和桂林的临桂区、阳朔县、荔浦县、全州县，柳州主要沿着工业区的搬迁升级而扩张，桂林则以旅游景点实现小区域发展。南宁、柳州、桂林的发展在地理位置上似乎呈直线趋势扩张，说明交通发展也推动了城市发展。

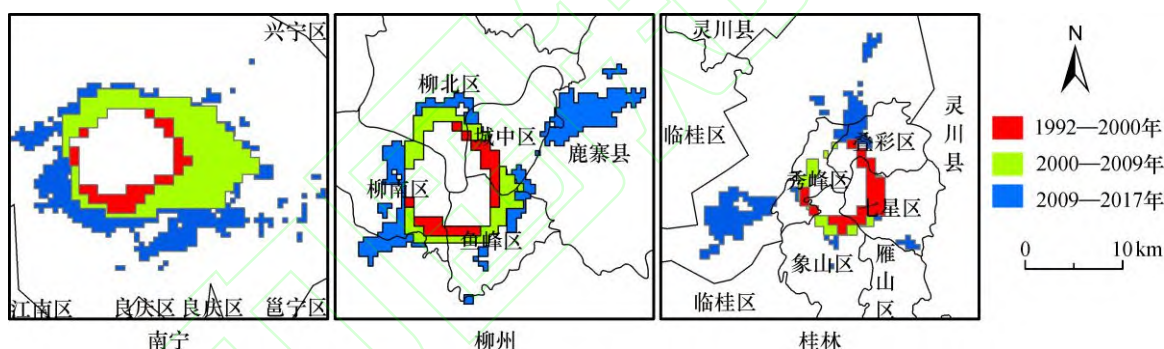


图9 1992—2017年三城市建成区扩张过程图

Fig.9 The course of city expansion of three cities from 1992 to 2017

4.2 城市扩张速度和强度分析 城市空间扩展速率是对城市空间扩展演变过程中城市在不同阶段的扩张面积的绝对增量，并在该指数的基础上，引入城市扩张强度指数（UII）对不同时期的城市扩张的速率进行量化比较，一定程度上映现了城市扩张强弱快慢。

速度指数 USI

$$USI = \frac{UA_{i+n} - UA_i}{n}, \quad (11)$$

强度指数 UII

$$UII = USI \times UA_i \times 100\%。 \quad (12)$$

式中： UA_{i+n} 、 UA_i 分别表示第 $n+i$ 年和第 i 年的提取建成区面积， n 表示年单位。

根据表9和图10中基于 Landsat TM/ETM+/OLI 光学数据和 DMSP/OLS、NPP/VIRS 夜间灯光数据计算出广

西三城的城市空间扩展速度和强度进行对比分析来看,Landsat 数据中的城市扩展速度明显比夜间灯光数据的数值大,空间扩展强度数值差小,但两种数据的空间扩展速度和强度在整体趋势上保持一致,即空间扩展速度数值一直在增大,同一城市对应相同年份城市扩展强度保持同向变化,Landsat 数据中,南宁在 2009—2017 年间空间扩展强度有所下降,由 0.18 降到 0.13,桂林在 2000—2009 年的这个时期从 0.17 下降至 0.1,而夜间灯光数据中,南宁在这个时期(2009—2017 年)从 0.13 降到 0.08,桂林在这个时期(2000—2009 年)由 0.07 降至 0.02,由此得出结论,分别基于光学遥感和夜光遥感通过参考比较法和光学建筑指数提取广西城市建成区具有很大的研究意义,具有一定的可信度。Landsat 数据中,南宁在 1992—2017 年城市扩展速度由 11.88 上升至 34.4,柳州在 1992—2017 年期间空间扩展速度由 6.95 上升至 21.74,桂林在 1992—2017 年期间空间扩展速度由 8.11 上升至 16.74,夜间灯光数据中,南宁在 1992—2017 年城市扩展速度由 3.51 上升至 16.66,柳州在 1992—2017 年期间空间扩展速度由 2.75 上升至 11.70,桂林在 1992—2017 年期间空间扩展速度由 2.75 上升至 8.13,结合两种数据进行对比分析发现,南宁的空间扩展速度最快,柳州次之,桂林最慢,结合广西目前的经济发展数据可知,南宁的城市规模是广西唯一的二线城市,故它的城市水平最高。随地区之间的发展各有差异,但是 3 个城市在总体上都加快了城市化进程速度,提高了城市化水平,扩大了城市规模。

表 9 基于夜间灯光与光学遥感提取的建成区空间扩展程度变化分析
Table 9 Analysis of spatial expansion changes of built-up area based on night-light and optical data

| 市 | 时间段 | 光学遥感 | | 夜光遥感 | |
|---|-------------|------|-----|------|-----|
| | | 扩 | 扩 | 扩 | 扩 |
| | 段 | 展速度 | 展强度 | 展速度 | 展强度 |
| 林 | 1992—2000 年 | 8.1 | 0.1 | 2.7 | 0.0 |
| | 2001—2009 年 | 8.4 | 0.1 | 1.1 | 0.0 |
| | 2010—2017 年 | 16. | 0.1 | 8.1 | 0.1 |
| | | 74 | 4 | 3 | 3 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 州 | 1992—2000 年 | 6.9 | 0.0 | 2.7 | 0.0 |
| | 2001—2009 年 | 15. | 0.0 | 4.5 | 0.0 |
| | 2010—2017 年 | 21. | 0.1 | 11. | 0.0 |
| | | 74 | 3 | 70 | 9 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 宁 | 1992—2000 年 | 11. | 0.1 | 3.5 | 0.0 |
| | 2001—2009 年 | 24. | 0.1 | 12. | 0.1 |
| | 2010—2017 年 | 34. | 0.1 | 16. | 0.0 |
| | | 40 | 3 | 66 | 8 |
| | | | | | |
| | | | | | |

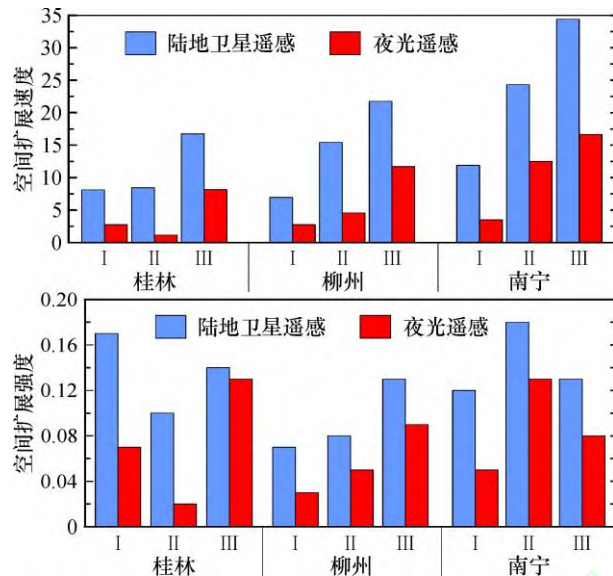


图 10 基于夜光遥感和陆地卫星遥感空间扩展速度和强度分析

Fig.10 Analysis of spatial expansion speed and intensity based on luminous remote sensing and land satellite remote sensing

4.3 城市重心变化分析

重心位置的变化可以反映建成区空间扩展方向的变化情况，城市建成区重心 (X , Y) 定义为区域内所有建成区用地的重心位置。通过对 1992—2017 年城市扩张图 (图 11) 中的重心位置变化和偏移轨迹分析得出，1992—2017 年广西城市发展十分迅速，城市重心所偏移区域反映了整个城市的活跃经济。1992 年，南宁建成区重心主要是在西乡塘区，1992—2000 年期间逐渐南移，2000—2009 年向西缓慢移动，2009—2017 年快速向东北方向偏移，25 年间城市重心随着西乡塘区-江南区-青秀区-兴宁区 4 个区而发生偏移，加速了南宁的城市发展进程。柳州是沿河发展起来的工业城市，在 1992—2000 年城市发展重心一直是围绕在柳北区靠河的城市群，并且逐渐由西南方向向柳南区发展扩张，在 2000—2009 年，城市重心迅速向东南方向偏移，即城市重心从柳北区向城中区转移，直至 2017 年，城市重心仍然在不断规划的城中区。桂林的城市建筑范围相对来说较小，城市重心主要盘踞在象山区，但 1992—2017 年间也有大尺度扩张的势头，1992—2000 年由东北方向至秀峰区扩张，2000—2009 年期间偏移速度小，缓慢向七星区偏移，2009—2017 年向叠彩区方向偏移。

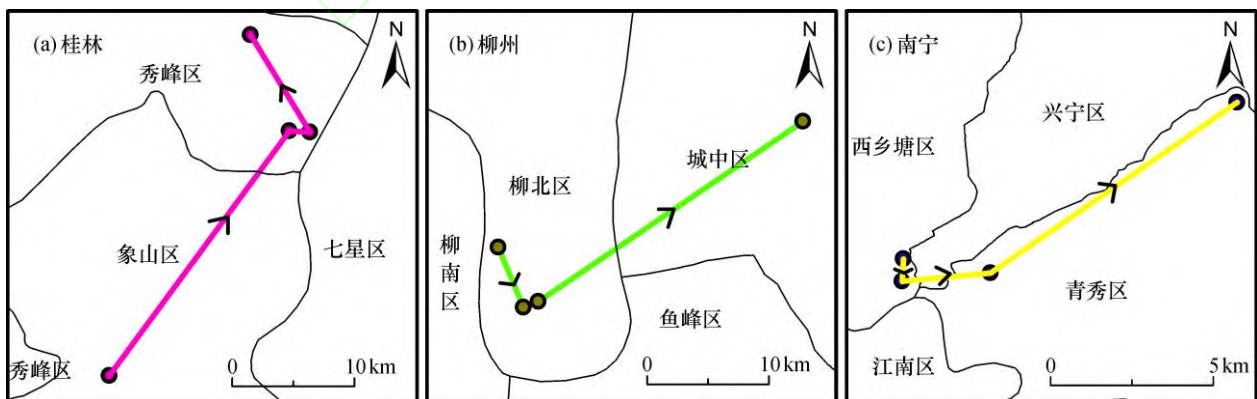


图 11 广西三城 1992—2017 年城市重心变化情况

Fig.11 Changes in the center of gravity of the three cities in Guangxi from 1992 to 2017

5 结 论

本文利用 1992—2017 的 Landsat TM/ETM+/OLI 光学遥感数据和 DMSP/OLS、NPP/VIIRS 夜间灯光数据提取广西南宁、柳州、桂林的城市建筑用地信息，并对两种提取结果进行对比分析，定量阐述广西城市空间格局时空演化特征。得到的结果表明：

(1) 广西城市化水平逐渐提高。南宁综合灯光指数由 0.001 2 上涨至 0.007 1，柳州综合灯光指数由 0.001 6 上涨至 0.004 4，桂林综合灯光强度由 0.000 4 上涨至 0.001 5，对比 3 个城市同一年份的综合灯光指数可以发现，南宁的综合灯光指数 CNLI 最高，说明南宁的城市化水平大于其它两个城市的水平，是广西城市化水平最高的城市，桂林的综合灯光指数 CNLI 数值最小，说明桂林的城市化水平相对偏低。

(2) 利用陆地卫星遥感与夜光遥感对城市建成区提取具有一定可信度。Landsat 数据和夜间灯光数据提取建成区的结果的精度都达到了比较高的准确率，陆地卫星提取的总体准确精度达到了 93%，但提取的整体精度比夜光遥感低，夜间灯光数据的总体精度都在 83% 以上，总体精度达到了 96%。

(3) 广西三大主要城市的城市化进程速度在加快。南宁在 1992—2017 年城市扩展速度由 11.88 上升至 34.4，柳州在 1992—2017 年期间扩展速度由 6.95 上升至 21.74，桂林在 1992—2017 年期间扩展速度由 8.11 上升至 16.74。在广西城市扩张过程中，城市建成区整体处于极速扩张态势，自 2000 年之后，城市扩张速率越来越快，扩展面积越来越大，各城镇区域之间聚集程度越来越高，呈现同一发展的现象，城市与城市之间相互作用也越来越大，这个连续上升的趋势也精确反映了广西城市空间格局的发展规律。

以上结果同时说明了广西城市发展整体呈现上升趋势，建成区的空间扩展范围随时间推移表现出高强度增长模式，这与广西规划的城市化进程发展趋势一致。广西区是多格局发展的区域，虽然目前广西的发展能力处于全国各个省份的中下水平，但根据以上结果，可以推断未来广西的发展指日而待，目前广西发展格局非常稳定，其核心发展实力处于一个上升期。2019 年，南宁的 GDP 为 4 506 亿元，柳州的 GDP 为 3 128 亿元，桂林的 GDP 为 2 105 亿元，依次位列广西经济前三。

南宁市地势优越，作为首府城市，属于北部湾城市群的核心城市，同时也是东盟博览会永久会址，经济总产值是全区第一，人口总数超过 300 万，GDP 超过 4 000 亿元，第三产业发展丰富，是引领广西城镇化发展的主要力量，极大活跃了广西各地经济，但知名度不及柳州市和桂林市。位于广西中北部的柳州市是广西区最发达的工业城市，有“桂中商埠”之说，是华南地区重要铁路交通枢纽，广西的经济离不开柳州雄厚的工业底子，柳州经济总量仅次于南宁经济，并紧追南宁。世界山水名城桂林市是桂东北经济重心，境内山清水秀，是国家历史名城，也是世界上优秀的旅游城市，桂林旅游业蓬勃发展，其交通枢纽连接了中部地区各大城市的优势为桂林经济奠定了基础。因此，南宁、柳州和桂林三市是广西极具发展潜力的主要城市，结合区位优势，全力推进城市化发展，加强区域间经济合作，广西未来城镇化发展将会是一个加速蓬勃的态势。

参考文献

- [1] 付仲良, 陈静. 多时相 Landsat 数据动态监测城市土地利用变化——以上海市为例[J]. 地理信息世界, 2016, 23(6): 26-30.
- [2] 刘文锴, 杨磊库, 梁洪有, 等. Landsat 卫星遥感影像在焦作市建成区扩展变化监测中的应用[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),

2009, 28(4): 445-448.

- [3] 王卷乐, 李锐, 徐永芬, 等.面向数据共享的城镇化信息快速提取技术方法与应用——以江苏盐城为例[J].地球信息科学学报, 2010, 12(3): 399-405.
- [4] 王海军, 孔祥冬, 武克军, 等.利用夜光遥感影像进行城市化监测[J].计算机工程与应用, 2018, 54(12): 235-239.
- [5] 程熙, 吴炜, 夏列钢, 等.集成夜间灯光数据与 Landsat TM 影像的不透水面自动提取方法研究[J].地球信息科学学报, 2017, 19(10): 1364-1374.
- [6] 马瑞雪, 付波霖, 何宏昌, 等.基于夜光遥感的 GDP 空间化建模及动态分析——以河南省为例[J].桂林理工大学学报, 2020, 40(3): 557-567.
- [7] 詹淇雯, 胡为安, 刘传立.基于 SNPP-VIIRS 夜间灯光数据的 GDP 预测模型对比[J/OL].桂林理工大学学报: 1-9[2020-09-21].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1375.N.20200914.1121.002.html>.
- [8] 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 United States[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 59(1): 105-117.
- [9] Cao X, Chen J, Imura H, et al. A SVM-based method to extract urban areas from DMSP-OLS and SPOT VGT data[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(10): 2205-2209.
- [10] Zhou Y Y, Smith S J, Elvidge C D, et al. A cluster-based method to map urban area from DMSP/OLS nightlights[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 147: 173-185.
- [11] Yi K P, Tani H, Li Q, et al. Mapping and evaluating the urbanization process in Northeast China using DMSP/OLS nighttime light data[J]. Sensors, 2014, 14(2): 3207-26.
- [12] Amaral S, Monteiro A M V, Camara G, et al. DMSP/OLS night-time light imagery for urban population estimates in the Brazilian Amazon[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(5): 855-870.
- [13] 宋善海, 刘绥华, 王堃, 等.不同地形背景下的 NPP/VIIRS 影像特征与估算模型对比分析[J].桂林理工大学学报, 2019, 39(1): 210-218.
- [14] 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.
- [15] 江威, 何国金, 刘慧婵.NPP/VIIRS 和 DMSP/OLS 夜光数据模拟社会经济参量对比[J]. 遥感信息, 2016, 31(4): 28-34.
- [16] 王若曦, 李建, 李熙, 等.DMSP 夜间灯光数据与 Landsat 数据结合的建成区提取研究——以江西省为例[J].华中师范大学学报(自然科学版), 2018, 52(1): 130-136.
- [17] 黄芳蕊, 杨亢, 张卫华.产业集聚带动广西城市化发展[J].当代经济, 2010(4): 94-95.
- [18] Wu J S, He S B, Peng J, et al. Intercalibration of DMSP-OLS night-time light data by the invariant region method[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(20): 7356-7368.
- [19] 钟亮, 刘小生, 杨鹏.SNPP-VIIRS 夜间灯光影像去噪方法研究[J].测绘通报, 2019(3): 21-26.
- [20] 胡为安, 刘传立, 詹淇雯.中国区域 NPP-VIIRS 年度夜间灯光数据的合成方法与对比验证[J/OL].桂林理工大学学报: 1-10[2020-09-21].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1375.N.20200602.0953.006.html>.
- [21] 陈晋, 卓莉, 史培军, 等.基于 DMSP/OLS 数据的中国城市化过程研究——反映区域城市化水平的灯光指数的构建[J].遥感学报, 2003(3): 168-175.
- [22] 李峰, 米晓楠, 刘军, 等.基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据的北京市 GDP 空间化方法[J].国土资源遥感, 2016, 28(3): 19-24.
- [23] 黄鸿健, 王芳, 解学通.基于灯光遥感数据的广东省城市化进程研究[J].广东土地科学, 2015, 14(6): 12-20.
- [24] 李孝永, 张杰.基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据山东省城市化研究[J].城市地理, 2016(14): 24-25.
- [25] 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.
- [26] Zha Y, Gao J, Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery[J].International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(3): 583-594.
- [27] Reiche M, Funk R, Zhang Z D, et al. Application of satellite remote sensing for mapping wind erosion risk and dust emission-deposition in Inner Mongolia grassland, China[J]. Grassland Science, 2012, 58(1): 8-19.
- [28] 马红.一种基于遥感指数的城市建筑用地信息提取新方法[J].城市勘测, 2014(3): 20-23.

Spatiotemporal dynamics of urban patterns in Guangxi

based on multi-temporal night-light and optical remote sensing data

LAN Fei-wu, FU Bo-lin, HE Hong-chang, LIU Man, GAO Er-tao, FAN Dong-lin

(1. Guilin University of Technology, College of Geomatics and Geoinformation, Guilin 541006, China)

Abstract : Taking the built-up areas of three major cities of Guilin, Liuzhou and Nanning of Guangxi Province as research areas. The threshold segmentation method was used to extract urban built-up areas from DMSP/OLS, NPP/VIIRS, and Landsat data. Analyze the urbanization level of the three cities in Guangxi based on the lighting characteristics of the total light intensity index (TNL), the average light intensity index (ULL) and the comprehensive night light intensity index (CNLI). By calculating the Normalized Building Index (NDBI), Building Land Index (IBI), Imitation Building Land Index (SIBI), and Comprehensive Weighted Building Index G of optical images, the threshold method was used to extract 3 cities in 1992, 2000, 2009 and 2017. The built-up area over a period of time. Finally, use the urban expansion rate, intensity index and the shift of the spatial center of gravity to quantitatively analyze the temporal and spatial evolution characteristics of the three major cities in Guangxi over the past 25 years. The results show that: (1) The level of urbanization in Guangxi continues to improve.(2) The use of land satellite remote sensing and night light remote sensing has certain credibility for the extraction of urban built-up areas. The overall accuracy of land satellite extraction has reached 93%, but the overall accuracy of extraction is lower than that of night light remote sensing. The overall accuracy of night light data is above 83%, and the overall accuracy reaches 96%. (3) The urbanization process of the three major cities in Guangxi is accelerating. Nanning's urban expansion rate rose from 11.88 to 34.4 during 1992-2017, Liuzhou rose from 6.95 to 21.74 during 1992-2017, and Guilin's expansion rate rose from 8.11 to 16.74 during 1992-2017. The above results also indicate that the overall urban development of Guangxi is showing an upward trend. The spatial expansion of the built-up area shows a high-intensity growth pattern over time. This is consistent with the development trend of urbanization planned by Guangxi.

Keywords: urban pattern; DMSP/OLS; NPP/VIIRS; building index; night-light index; dynamic analysis