

引用格式:Guo Changqing, Zhang Xuexia, Hou Yali, *et al.* Reconstructing Urban Expansion and Analyzing Land Cover Change of Xining and Lhasa in the Past 70 Years based on Multi-source Spatiotemporal Information[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(2): 342-353. [郭长庆, 张学霞, 侯亚丽, 等. 基于多源时空信息的西宁和拉萨近70年来城市扩展过程重现及地表覆盖变化分析[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(2): 342-353.]
DOI:10.11873/j.issn.1004-0323.2022.2.0342

基于多源时空信息的西宁和拉萨近70年来城市扩展过程重现及地表覆盖变化分析

郭长庆¹, 张学霞¹, 侯亚丽^{2,3}, 匡文慧²

(1. 北京林业大学水土保持学院 水土保持国家林业局重点实验室, 北京 100083;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;
3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 西宁和拉萨城市作为青藏高原人类活动的热点地区, 其发展历程对青藏高原社会经济发展具有重要影响。研究基于遥感影像、城市规划图和历史地图等资料重建了西宁和拉萨城市1949基准年、1978基准年、1990年、2000年、2010年和2018年城市扩展及2000年以来城市不透水层和绿地空间组分数据, 分析了1949基准年以来西宁和拉萨主城区城市扩展的时空特征, 揭示了社会经济因素和政策因素对城市土地利用/覆盖变化的影响。研究结果表明: ①新中国成立以来, 西宁和拉萨主城区持续扩展, 均呈现非线性的增长态势, 城市土地面积分别从1949基准年的1.98 km²和1.10 km²增长到2018年的79.26 km²和77.04 km²; 西宁主城区城市扩展呈现十字状的扩展态势, 拉萨呈现出圈层外延式的扩展模式; ②自2000年来, 西宁和拉萨城市绿化水平显著提升。2000~2018年, 西宁和拉萨城市不透水层面积分别从36.91 km²和21.56 km²增加到55.34 km²和48.21 km², 城市绿地空间面积分别从10.78 km²和8.48 km²增加到19.21 km²和20.35 km², 年均扩展速度分别为0.47 km²/a和0.66 km²/a; 主城区城市不透水层比例分别从74.09%和66.21%下降到69.82%和62.58%, 城市绿地空间比例从21.64%和26.05%上升到24.24%和26.41%; ③西宁和拉萨城市人口增长、经济发展和国家相关政策与主城区城市扩展及其土地利用/覆盖变化密切相关, 主城区城市扩展阶段与人口增长、经济发展阶段以及国家相关政策实施时间接近吻合。主城区土地利用/覆盖变化与城市规划相关政策高度相关, 尤其是园林绿化建设, 显著增加了城市绿地空间面积, 城市绿地空间面积比例较2000年显著提升。

关键词: 城市扩展; 城市土地利用/覆盖变化; 不透水层; 遥感监测

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)02-0342-12

1 引言

随着全球城市化进程的加快, 2018年全球城市人口达到42亿人, 占全球总人口的55%, 至2050年城市人口预计将增加到全球总人口的68%^[1]。城市

化引起的土地利用/土地覆盖变化作为表征人类活动行为对地球陆地表面自然生态系统影响最直接的信号, 是人类社会经济活动行为与自然生态过程交互和链接的纽带, 已成为全球气候变化和全球环境变化研究关注的重要内容^[2]。城市空间扩展又是

收稿日期: 2020-11-09; 修订日期: 2022-02-26

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0608)。

作者简介: 郭长庆(1994—), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事生态环境遥感研究。E-mail: cqguo0574@163.com

通讯作者: 匡文慧(1978—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 研究员, 主要从事土地利用/覆被变化、城市生态学研究。E-mail: kuangwh@igsrr.ac.cn

城市化过程及城市土地利用变化最为直接的表现形式^[3]。

从新中国成立初期至今,中国城市化发展取得了举世瞩目的显著成就。在过去的70 a中,中国城镇化率从1949年的10.64%增加到2018年的59.58%,从农村到城市的人口迁移增加了7.74亿人^[4]。尤其是改革开放以来,1980~2010年的30 a间,中国城镇化率从19.40%增长到49.20%,增加了29.80%^[5]。但随着剧烈的国土空间格局演变,无序的国土空间开发导致土地退化、土地荒漠化、生物多样性减少、生态系统退化、人地矛盾突出和用地供需不平衡等一系列资源环境问题,严重制约未来可持续发展目标的实现^[6-8]。由此刻画城市空间扩展及其内部地表覆盖特征变化成为研究关注的热点问题^[9-12]。

基于遥感与GIS技术,国内外学者从不同时空尺度对城市扩展过程、空间格局、形态特征以及驱动因素等方面展开研究。例如,在城市扩展过程上,利用Landsat数据集对印度浦那城市扩展和城市增长类型进行详细的时空分析^[13],利用1996年、2006年和2016年Landsat TM/OLI影像数据分析拉萨市城关区近20 a的城市扩展的时空特征^[14],基于夜间灯光数据和MODIS等多源遥感数据,重建陕西省2000~2015年城市扩展进程,探究西安城市扩展细节特征^[15];在空间格局上,基于国家资源环境数据库动态土地利用数据分析了1990~2000年中国31个特大城市空间形态的总体变化趋势^[16],基于1996~2008年土地利用数据分析了西宁主城区城市土地利用格局变化^[17];在形态特征上,利用卫星影像对比分析了全球77个特大城市的形态特征^[18],通过Landsat影像提取中国和美国六大城市内部不透水层分布,分析了1978~2010年间城市内部地表覆盖变化特征^[5];在驱动因素上,利用2001年和2014年两期的Landsat影像数据和DEM数据分析了影响西宁市土地利用结构变化的主要驱动力^[19],基于夜间灯光数据和统计数据定量分析了2008~2013年西安市城市用地与社会经济指标之间的关联度^[20],使用地理和时间加权回归模型和2000~2015年年度城市土地利用数据集分析了不同驱动力对中国城市土地扩展的时空异质性影响^[21]。由于遥感数据起步较晚,城市变化研究多为30 a左右,70 a等长的时间序列研究较少,且目前已有的主流的30 m分辨率全球或国家城市土地利用/

覆盖数据产品,仅提供单一城市土地利用类型的二元模式或动态数据,无法有效地描述内部区域的定量组成或城市土地覆盖结构^[22-23]。

以西宁和拉萨主城区为研究对象,分析了两个城市的城市扩展态势和地表覆盖变化特征。基于中国土地利用/覆盖变化数据集(China Land Use/Cover Dataset, CLUD),分析研究区自1949年以来的城市扩展情况;同时,基于中国城市不透水层和绿地空间组分数据集获取城市地表覆盖组分,探究2000年以来西宁和拉萨城市扩展进程中内部地表覆盖的空间变化特征及影响因素,为西宁和拉萨建设资源节约型和环境友好型城市奠定基础。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

西宁位于青海省东部,是其政治、经济、文化、科教、交通和贸易中心,是连接青藏高原和内陆地区的通衢,古“丝绸之路”南路和“唐蕃古道”的必经之地。拉萨位于西藏自治区中南部,地处雅鲁藏布江支流拉萨河中游河谷平原,是西藏的政治、经济、文化和科教中心,是藏传佛教圣地(图1)。2017年,西宁市域总人口235.50万人,城市化率为71.10%,GDP为1 284.91亿元;拉萨市域总人口为54.36万人,城市化率为42.40%,GDP为479.25亿元。两个城市均位于青藏高原地区^[24],但城市背景、发展规划、经济发展水平存在较大差异。进入21世纪以来中国城市高速迅猛发展,城市地域结构和空间格局不断优化升级,“西部大开发”战略的实施显著带动了青藏高原地区的城镇化发展。对比分析西宁和拉萨的城市化发展轨迹和城市土地利用/覆盖变化可为青藏高原中部和北部边缘地区制定国土空间规划和城市生态环境管理提供重要参考。

2.2 数据来源

研究使用的数据包括中国土地利用/覆盖变化数据集和中国城市不透水层和绿地空间组分数据集、遥感影像数据、历史图集、城市规划图件、人口经济数据。中国土地利用/覆盖变化数据集和中国城市不透水层和绿地空间组分数据集来自中国科学院地理科学与资源研究所^[22,25]。遥感影像数据包括HJ-1A/B、GF-1、GF-2、ZY-3、Landsat MSS/TM/ETM+/OLI系列遥感影像。人口经济数据来源于各年份《中国统计年鉴》、国民经济与社会发展公报、各期全国人口普查数据、西宁和拉萨市的统

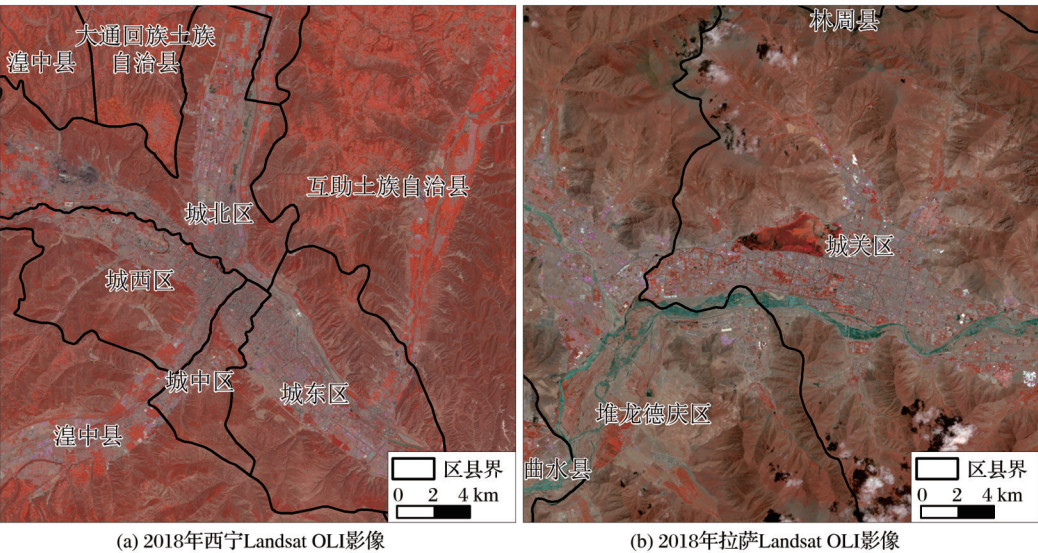


图 1 西宁和拉萨遥感影像图

Fig.1 Remote sensing images of Xining and Lhasa

计年鉴、《中国城市建设统计年鉴》和《新中国六十年统计资料汇编》。历史图集数据参考《中国城市地图集》(中国城市地图集编辑委员会,1994)。城市规划图件为《拉萨城市总体规划(2009~2020)》和《西宁市城市总体规划(2001~2020年)》。

城市土地的提取是进行城市扩展研究的前提^[11]。城市土地,即城市地域实体或城市建成用地,指已按城市建设规划完成的非农业生产建设用地,

表 1 主要数据源

Table 1 Main data sources

数据名称	分辨率 /数据类型	数据使用	数据来源
Landsat MSS	80 m	生产中国土地利用/覆盖变化数据集	http://glovis.usgs.gov/
Landsat TM/ETM+/OLI	30 m	生产中国土地利用/覆盖变化数据集、中国城市不透水层和绿地空间组分数数据集	http://glovis.usgs.gov/
HJ-1A/B	30 m	生产中国土地利用/覆盖变化数据集、质量控制和精度评价	http://www.cresda.com/CN/
GF-1	2/8 m	生产中国土地利用/覆盖变化数据集、质量控制和精度评价	http://www.cresda.com/CN/
GF-2	1/4 m	质量控制和精度评价	http://www.cresda.com/CN/
ZY-3	3.5 m、2.5 m	质量控制和精度评价	http://www.cresda.com/CN/
Google Earth	0.54/8 m	质量控制和精度评价	https://www.google.com/earth/
SRTM DEM	90 m	生产中国城市不透水层和绿地空间组分数数据集	http://srtm.csi.cgiar.org/
历史时期城市主城区边界(1949基准年和1978基准年)	矢量	城市扩展分析	《中国城市地图集》
中国土地利用/覆盖变化数据集(1990、2000、2010和2018年)	矢量	城市扩展分析	中国科学院地理科学与资源研究所
中国城市不透水层和绿地空间组分数数据集(2000、2010和2018年)	30 m	城市地表覆盖变化分析	http://doi.org/10.5281/zenodo.4034161
人口和经济数据	统计	驱动因素分析	各年份《中国统计年鉴》、国民经济与社会发展公报、各期全国人口普查数据、西宁和拉萨市的统计年鉴、《中国城市建设统计年鉴》和《新中国六十年统计资料汇编》

地,包括市区建筑物集中连片的部分以及近郊内与城市有着密切联系的其他城市建设用地^[26-28]。主城区城市土地边界的提取分为两个部分:一是1949~1978年主城区城市土地边界,通过矢量化历史图件《中国城市地图集》中的城市边界获取相应城市边界信息;二是1978年以后的主城区城市土地边界,提取自CLUD中二级分类的城镇用地,该数据是以Landsat遥感影像、HJ-1A/B和GF-1为数据源,通过人工交互目视解译方法获取,二级类精度达到90%^[2,25]。

城市土地覆盖主要分为不透水层(Impervious Surface, IS)、绿地空间(Green Space, GS)、水域和裸土四大类。研究中城市土地覆盖组分信息特指城市不透水层和绿地空间等各覆盖类型的构成和各类型的面积比例。城市不透水层主要是遥感上可识别的城市下垫面中不具有透水性的沥青、混凝土、砖及石头等物质覆盖的建筑屋顶、道路、广场和停机坪等;城市绿地空间主要是分布于城市主城区内的公园、林地和草坪等覆盖类型^[22-23,27]。从中国城市不透水层和绿地空间组分数据集中提取西宁和拉萨主城区城市不透水层和绿地空间组分信息,以每个像素中城市不透水层和绿地空间的比例来刻画两个组分的空间分布。该数据集首先从中国土地利用/覆盖数据集(CLUD)中提取城市矢量边界,获取中国不同城市生态地理分区采样城市的训

练样本,对训练样本地表覆盖进行人机交互遥感解译,再对谷歌地球引擎(Google Earth Engine, GEE)分区模型算法进行测试与参数校正,然后基于随机森林算法获取归一化居住地密度指数(Normalized Settlement Density Index, NSDI),并根据像元二分法获取绿地空间组分,最后利用城市矢量边界裁剪NSDI和绿地空间组分,获取城市不透水层和绿地空间组分数据^[22]。该数据集利用均方根误差(RMSE)和相关系数(R)验证城市组分数据的准确性。城市不透水层数据RMSE平均值为0.10, R 平均值为0.91;城市绿地空间数据RMSE平均值为0.11, R 平均值为0.89,满足城市不透水层和绿地空间分布分析的需要^[22]。

2.3 研究方法

基于中国土地利用/覆盖数据、中国城市不透水层和绿地空间组分数据和社会经济数据,利用城市扩展速度^[10,29-30]、城市扩展比例^[20,31]和人均城市土地面积^[32-33]等方法展开西宁和拉萨城市主城区扩展进程中的时空变化特征分析,以及利用城市不透水层、绿地空间比例^[13,29-30]和人均城市绿地空间面积^[33-34]等方法分析扩展进程中城市不透水层和绿地空间的变化,基于此揭示社会经济因素和政策因素对城市土地利用/覆盖变化的影响。

(1) 城市扩展速度

城市扩展速度指特定时段内年均城市扩展面

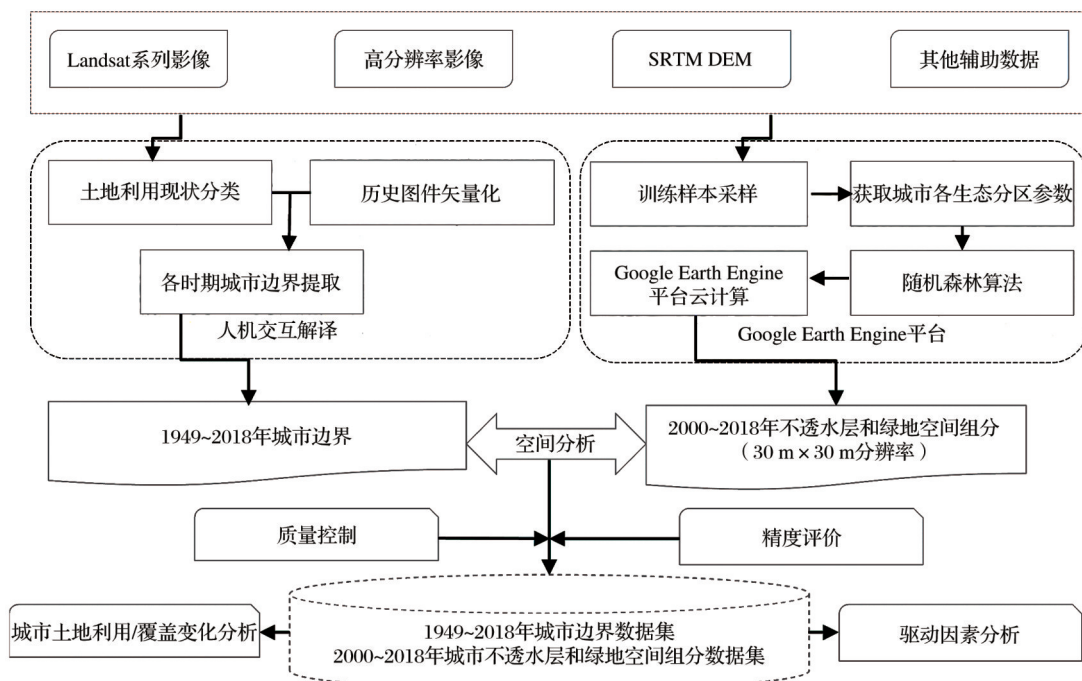


图2 研究技术路线图

Fig 2 The technological route of this study

积,公式如下:

$$DUL_{t1-t2} = \frac{UL_{t2} - UL_{t1}}{t2 - t1} \quad (1)$$

其中: DUL_{t1-t2} 为 $t1$ 到 $t2$ 时段城市扩展速度(km^2/a); UL_{t2} 和 UL_{t1} 分别为 $t2$ 和 $t1$ 时间城市土地面积(km^2)。

(2)城市扩展比例

城市扩展比例指特定时段内城市扩展占初始年份城市土地面积的比例,公式如下:

$$RUL_{t1-t2} = \frac{UL_{t2} - UL_{t1}}{UL_{t1}} \times 100\% \quad (2)$$

其中: RUL_{t1-t2} 为 $t1$ 到 $t2$ 时段城市土地扩展比例(%); UL_{t2} 和 UL_{t1} 分别为 $t2$ 和 $t1$ 时间城市土地面积(km^2)。

(3)人均城市土地面积

人均城市土地面积指特定年份城市土地面积与城市人口之比,公式如下:

$$PUL_t = \frac{UL_t}{P_t} \quad (3)$$

其中: PUL_t 为 t 年份人均城市土地面积($\text{m}^2/\text{人}$); UL_t 为 t 年份城市土地面积(km^2), P_t 为 t 年份城市人口(百万人)。

(4)城市不透水层比例

城市不透水层比例指城市不透水层面积占城市土地面积的比例,公式如下:

$$ISA_p = \frac{ISA}{B} \times 100\% \quad (4)$$

其中: ISA_p 为城市不透水层比例(%); ISA 为城市不透水层的面积(km^2); B 为城市土地的面积(km^2)。

(5)城市绿地空间比例

城市绿地空间比例指城市绿地空间面积占城市土地面积的比例,公式如下:

$$UGS_p = \frac{UGS}{B} \times 100\% \quad (5)$$

其中: UGS_p 为城市绿地空间比例(%); UGS 为城市

绿地空间的面积(km^2), B 为城市土地的面积(km^2)。

(6)人均城市绿地空间面积

人均城市绿地空间面积指城市绿地空间面积与城市人口之比,公式如下:

$$UGSF_t = \frac{AUGS_t}{P_t} \quad (6)$$

其中: $UGSF_t$ 为 t 年份人均城市绿地空间面积($\text{m}^2/\text{人}$); $AUGS_t$ 为 t 年份城市绿地空间面积(km^2); P_t 为 t 年份城市人口(百万人)。

3 结果与分析

3.1 西宁和拉萨城市扩展时空变化特征

西宁和拉萨两个城市的主城区范围在近 70 a 间持续扩展(表 2~表 3)。西宁主城区城市土地面积从 1949 年的 1.98 km^2 增长到 2018 年的 79.26 km^2 , 扩展总面积为 77.28 km^2 , 平均每年扩展了 1.12 km^2 。拉萨主城区城市土地面积从 1951 年的 1.10 km^2 增长到 2018 年的 77.04 km^2 , 城市扩展总面积为 75.94 km^2 , 平均每年扩展了 1.13 km^2 。1978 基准年~2018 年, 西宁和拉萨人均城市土地面积从 $14.72 \text{ m}^2/\text{人}$ 和 $43.31 \text{ m}^2/\text{人}$ 增加到 $33.43 \text{ m}^2/\text{人}$ 和 $138.96 \text{ m}^2/\text{人}$, 增加了 $18.71 \text{ m}^2/\text{人}$ 和 $95.65 \text{ m}^2/\text{人}$, 平均每年增加 $0.47 \text{ m}^2/\text{人}$ 和 $2.39 \text{ m}^2/\text{人}$ 。

近 70 a 来, 西宁市城市扩展面积是 1949 年城市土地面积的 39.03 倍, 低于拉萨市相对于 1951 年城市土地面积的 69.04 倍(表 3)。在城市扩展速度上, 西宁表现出“加速—减速—加速—减速”的扩展特征, 其加速阶段为 1978~1990 年和 2000~2010 年。改革开放以来的 1978~1990 年间, 西宁主城区迅速扩展, 从 19.61 km^2 扩展到 46.65 km^2 , 扩展了 27.04 km^2 , 扩展速度为 $2.25 \text{ km}^2/\text{a}$ 。西部大开发战略实施以来的 2000~2010 年间, 西宁进一步加大了城市建设力度, 主城区城市土地面积从 49.82 km^2 扩展到 73.04 km^2 ,

表 2 近 70 a 西宁和拉萨城市土地面积现状

Table 2 The current status of urban land area in Xining and Lhasa in the past 70 years

年份	西宁		拉萨	
	城市土地面积/ km^2	人均城市土地面积($\text{m}^2/\text{人}$)	城市土地面积/ km^2	人均城市土地面积($\text{m}^2/\text{人}$)
1949 基准年*	1.98	—	1.10	—
1978 基准年*	19.61	14.72	16.12	43.31
1990	46.65	28.96	17.88	50.14
2000	49.82	25.17	32.56	80.63
2010	73.04	33.08	59.58	122.95
2018	79.26	33.43	77.04	138.96

注:1949 基准年, 西宁为 1949, 拉萨为 1951; 1978 基准年, 西宁为 1978, 拉萨为 1975

扩展了23.22 km²,扩展速度为2.32 km²/a。而拉萨表现出“减速—加速—减速”的扩展特征,其加速阶段为1990~2000年和2000~2010年。其中,扩展速度最快的阶段是2000~2010年,主城区城市土地面积从32.56 km²扩展到59.58 km²,10 a间扩展了27.02 km²,扩展速度为2.70 km²/a。

进入21世纪以来,随着西部大开发战略的实施,拉萨市加大了基础建设的投资力度,城市建设进入了一个较快发展阶段,城市用地规模不断扩大,主城区大幅度向外扩展,主城区城市土地面积从2000年的32.56 km²到2018年的77.04 km²,扩展

了44.48 km²,扩展速度为2.47 km²/a。在城市扩展比例上,西宁和拉萨均呈现“降低—升高—降低”的趋势。西宁城市扩展比例升高阶段为2000~2010年。其中,1949~1978年城市扩展比例最高为890.40%,其次为1978~1990年,城市扩展比例为137.89%,1990~2000年城市扩展最低,仅为6.80%。拉萨城市扩展比例升高阶段为1990~2000年和2000~2010年。其中,1951~1975年城市扩展比例最高为1365.45%,其次为2000~2010年,城市扩展比例为82.99%,1978~1990年城市扩展最低,仅为10.92%。

表3 近70 a西宁和拉萨城市土地扩展情况

Table 3 Urban land expansion in Xining and Lhasa in the past 70 years

时期	西宁			拉萨		
	城市扩展面积 /km ²	城市扩展速度 /(km ² /a)	城市扩展比例 /%	城市扩展面积 /km ²	城市扩展速度 /(km ² /a)	城市扩展比例 /%
1949基准年*~1978基准年*	17.63	0.61	890.40	15.02	0.63	1365.45
1978基准年~1990	27.04	2.25	137.89	1.76	0.12	10.92
1990~2000	3.17	0.32	6.80	14.68	1.47	82.10
2000~2010	23.22	2.32	46.61	27.02	2.70	82.99
2010~2018	6.22	0.78	8.52	17.46	2.18	29.31
1949基准年~2018	77.28	1.12	3903.03	75.94	1.13	6903.64

注:1949基准年,西宁为1949,拉萨为1951;1978基准年,西宁为1978,拉萨为1975

西宁和拉萨城市扩展呈现出较明显的时空差异特征(图3)。西宁主城区城市扩展呈现十字状的扩展态势,以中间为核心,向4个分支方向扩展。1949~1978年,城中区开始扩展充实逐渐达到饱和状态;1978年以后,开始向4个分支方向扩展,1978~2000年,城东区 and 城西区扩展面积相对较多,2000年以后,城西区 and 城北区迅速扩展。拉萨主城区城市扩展呈现圈层外延式的扩展模式,不同阶段扩展模式也存在差异。其中,1951~1990年拉萨市城市先呈圈层式外延扩展后呈轴线式扩展;1990~2018年,呈现显著的圈层外延式的扩展模式,城市周边辖区快速发展,逐渐与主城区形成连绵式的下垫面分布格局。

3.2 2000年以来西宁和拉萨城市不透水层与绿地空间变化

2018年西宁和拉萨城市不透水层面积分别为55.34 km²和48.21 km²,在城市土地面积中占比分别为69.82%和62.58%,城市绿地空间面积分别为19.21 km²和20.35 km²,在城市土地面积中占比为24.24%和26.41%,城市水域面积分别为0.69 km²和0.41 km²,面积占比为0.87%和0.53%。

在西部大开发战略的驱动下,2000~2018年,西宁城市不透水层面积从36.91 km²增加到55.34 km²,以年均0.97 km²的速度增长了18.43 km²,城市绿地空间面积从10.78 km²增加到19.21 km²,以年均0.47 km²的速度增长了8.43 km²;拉萨城市不透水层面积从21.56 km²增加到48.21 km²,以年均1.48 km²的速度增长了26.65 km²,城市绿地空间面积从8.48 km²增加到20.35 km²,以年均0.66 km²的速度增长了11.87 km²;西宁城市不透水层在城市土地中的占比由74.09%下降到69.82%,随着城市绿化水平的提升,城市绿地空间占比由21.64%上升到24.24%;同时,拉萨城市不透水层占比66.21%下降到62.58%,城市绿地空间占比由26.05%上升到26.41%(表4)。

西宁和拉萨不同扩展时段城市不透水层比例表明,2000年以来,西宁和拉萨城市开发建设更加注重不透水地表和绿地覆盖的有效镶嵌(图4)。总体上,由于西宁和拉萨城市生态文明建设对园林绿化的重视,一定程度上增加了绿地空间面积,降低了城市地表不透水性,城市绿化比例有所提升,生态成效显著。

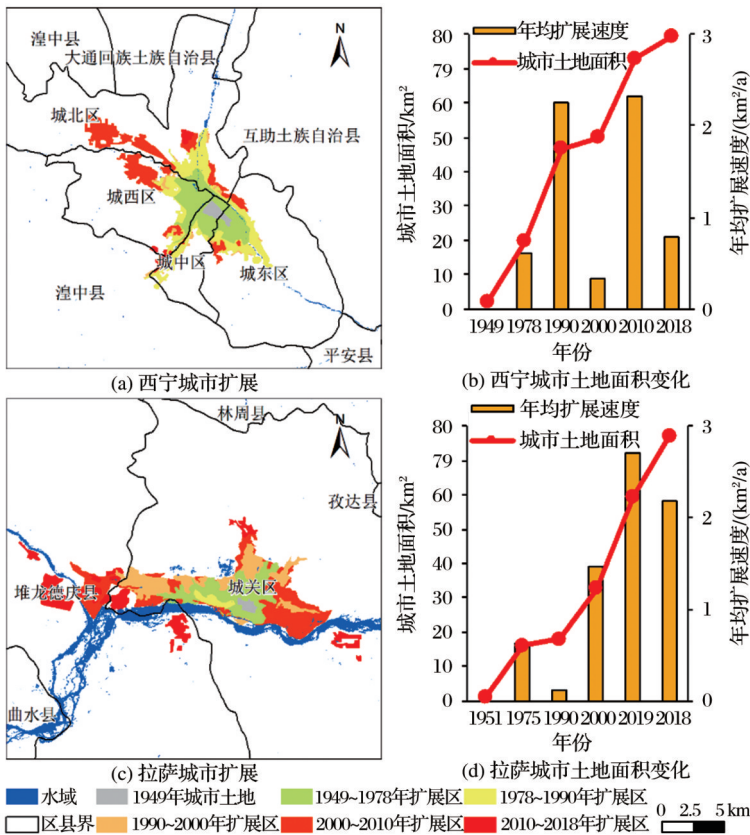


图 3 近 70 a 西宁和拉萨城市扩展和城市土地面积变化

表 4 2000~2018 年西宁和拉萨城市地表覆盖面积和比例
Table 4 Urban land cover area and proportion of Xining and Lhasa from 2000 to 2018

城市	地表覆盖 组分	面积/km ²			比例/%		
		2000 年	2010 年	2018 年	2000 年	2010 年	2018 年
西宁	不透水层	36.91	51.84	55.34	74.09	70.98	69.82
	绿地空间	10.78	18.03	19.21	21.64	24.69	24.24
拉萨	不透水层	21.56	37.08	48.21	66.21	62.23	62.58
	绿地空间	8.48	16.03	20.35	26.05	26.91	26.41

4 讨论

4.1 西宁和拉萨城市土地利用/覆盖变化的社会经济因素分析

新中国成立 70 a 来, 西宁和拉萨城市化水平持续上升, 西宁城市化水平从 1980 年的 41.19% 上升到 2018 年的 72.10%, 拉萨城市化水平从 1959 年的 31.74% 上升到 2017 年的 42.40%。1980~2018 年, 西宁和拉萨城市人口总体呈现稳步上升的趋势, 西宁市常住人口从 137.39 万人上升到 237.11 万人, 拉萨市户籍人口从 38.89 万人上升到 55.44 万人。人口的增加带动了 GDP 的增长, 西宁和拉萨 GDP 分别从 1980 年的 8.65 亿元和 2.98 亿元增长到 2018 年

的 1286.41 亿元和 540.78 亿元(图 5)。人口的大量涌入, 造成西宁和拉萨城市用地面积紧张, 其发展初期主要是建设居民点和道路, 不透水层面积迅速增加。进入 21 世纪以来, 西宁和拉萨人口增长态势减缓, 城市发展注重生态环境建设, 园林绿化和公园面积增加, 城市绿地空间比例有所上升。

4.2 西宁和拉萨城市土地利用/覆盖变化的政策因素驱动

西宁城市扩展是由地处“四山夹三河”的河湟谷地的特殊地理条件决定, 城市扩展受限。改革开放以来, 在国家大力支持下, 西宁对基础产业、基础设施等方面进行投资建设, 城市地表极大改变, 不透水层面积逐年增加。西部大开发战略实施以来, 西宁加大了城市建设力度, 先后建设了一大批高等级公路, 不透水层面积进一步增加。随着西宁实施“双环”战略以来^[35], 建立建成多个公园、小游园和成片绿地, 城市绿地面积显著增加, 主城区绿化水平波动上升, 不透水层面积比例稳步下降。由于长期分裂割据及恶劣自然条件的限制, 拉萨城市发展受限, 城市规模在历史时期变化不明显。改革开放以来, 中央于 1984 年决定援助西藏建设的 43 项重

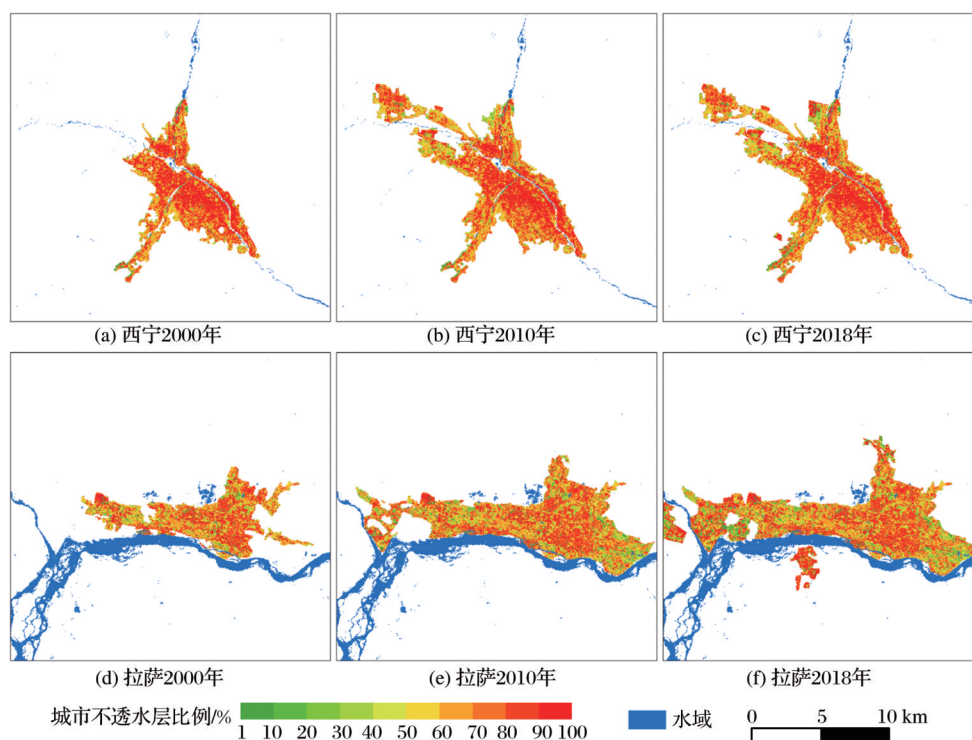


图4 2000~2018年西宁和拉萨城市地表覆盖变化

Fig 4 Urban land cover changes in Xining and Lhasa from 2000 to 2018

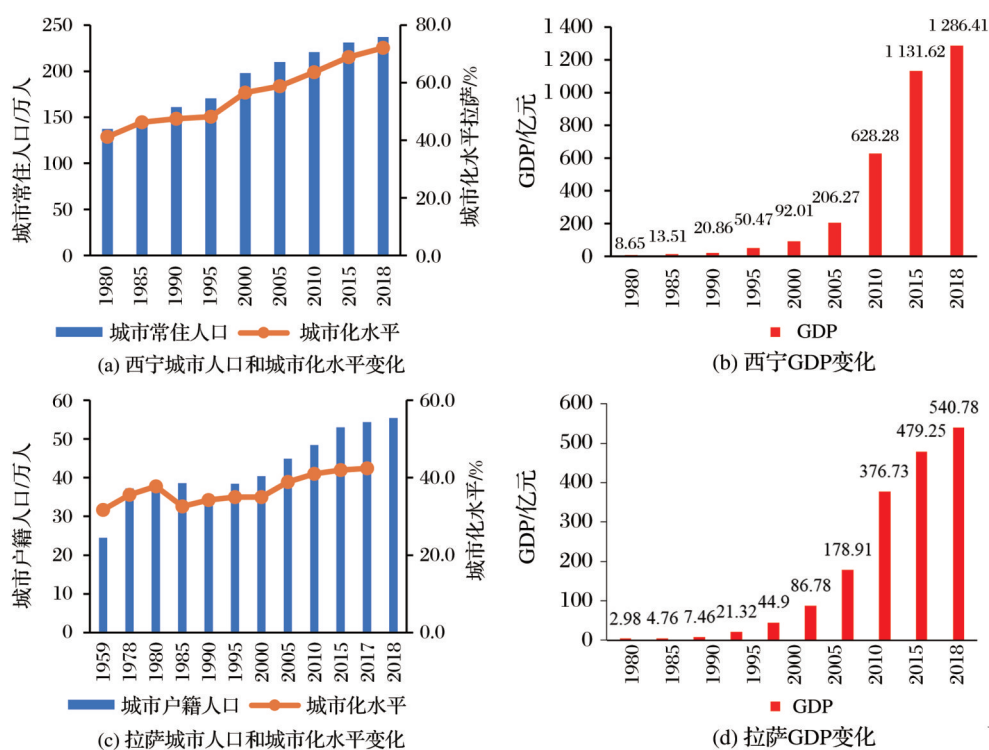


图5 西宁和拉萨城市人口、城市化水平和GDP变化

Fig 5 Changes in population, urbanization level and GDP of Xining and Lhasa

点工程中有18项在拉萨市区,集中分布于拉萨的北区和西区,拉萨城市建设得到了突飞猛进的发展^[36]。西部大开发战略实施后,拉萨城市建设进入

高速发展时期,城市不透水层面积逐年增加,但随着拉萨市政府贯彻山水林田湖草生命共同体理念,开展国土绿化行动,巩固提升国家园林城市创建水

平,实施“绿色围城”及周边山体造林,绿地空间面积迅速增加,绿地空间面积比例波动增长,不透水层面积比例呈现下降趋势(表4)。

总体上,在国家政策的驱动下,尤其是西部大开发战略的实施,西宁和拉萨城市扩展迅速,城市地表覆盖变化明显,不透水层和绿地空间面积显著增加,主城区城市不透水层比例呈现下降趋势,城市绿地空间比例呈现上升趋势,城市绿化水平波动提升。

4.3 西宁和拉萨城市园林绿化成效

城市园林绿化建设是城市建设的重要组成部分,城市园林绿化在改善城市环境质量、调节城市气候、维护城市生态系统平衡、美化城市容貌和丰富人民精神文化生活等方面有着不可替代的作用,它承担着生态环境保护、休闲游憩、景观营造等多

种功能,是城市生态环境的重要保障和实现城市可持续发展战略的重要生态措施^[35]。2000年以来西宁和拉萨城市园林绿化成效显著。截止到2018年底,西宁和拉萨城市绿化覆盖面积为3 967.00 hm²和3 597.00 hm²,城市主城区绿化覆盖率为39.60%和37.11%。西宁和拉萨城市公园绿地面积分别从2002年的481.70 hm²和14.20 hm²增加到2018年的1 645.00 hm²和328.76 hm²,城市公园绿地面积增加了1 163.30 hm²和314.56 hm²,平均每年增加了72.71 hm²和19.66 hm²,人均城市绿地空间面积分别从2000年的5.45 m²/人和21.00 m²/人增加到2018年的8.10 m²/人和36.71 m²/人,人均城市公园绿地面积分别从2002年的2.38 m²/人和0.35 m²/人增加到2018年的6.94 m²/人和5.93 m²/人(图6)。

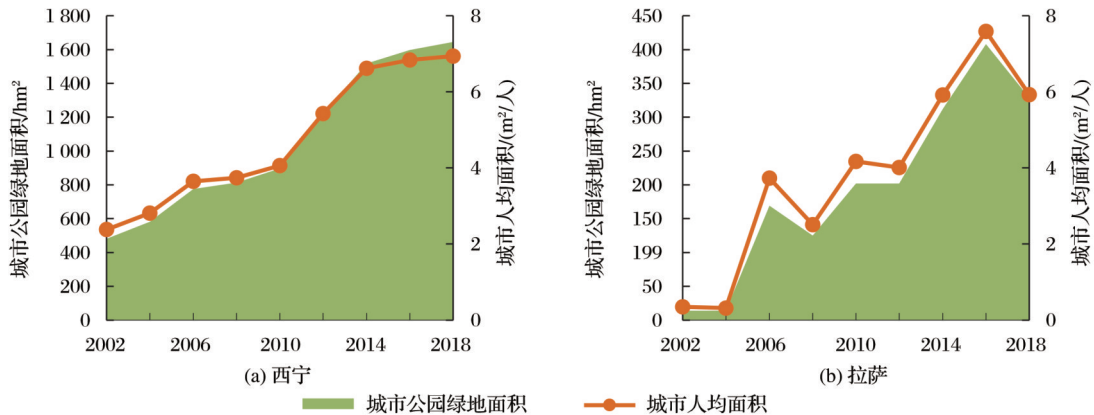


图6 西宁和拉萨城市公园绿地面积及人均面积变化

Fig 6 Changes in the area and per capita area of urban parks green space in Xining and Lhasa

近年来,西宁市围绕“高原绿”建设行动,立足公园城市建设,将公园形态和城市空间有机融合,构筑了多姿多彩的城市生态环境,推进了国家级环城生态公园建设进程。2006年拉萨市自“创园”工程启动以来,拉萨市相关牵头部门重点打造城市“六绿”工程,持续加大城市园林绿化投入,城市的绿化现状明显改善,初步形成拉萨市的绿化新格局^[37]。

公园绿地建设起到了美化和改善城市生态环境的作用,在提高城市形象、服务市民及开展各种重大社会活动等方面发挥了不可替代的作用,其绿化成效为西宁和拉萨建设生态城市、宜居城市奠定了坚实的基础。

5 结 论

研究选取西宁和拉萨主城区为研究对象,基于历史地图、遥感影像和城市规划图等资料重建了西

宁和拉萨城市1949基准年~2018年6期城市扩展及2000~2018年3期城市不透水层和绿地空间组分数据,分析了1949基准年以来西宁和拉萨主城区城市阶段扩展的时空变化特征,揭示了社会经济因素和政策因素对城市土地利用/覆盖变化的影响特征。研究结论如下:

(1) 西宁和拉萨城市扩展迅速,城市间扩展阶段有共性也有明显差异。1949基准年~2018年,西宁和拉萨两个城市的主城区持续扩展,西宁和拉萨主城区城市土地面积分别从1.98 km²和1.10 km²增长到79.26 km²和77.04 km²;西宁表现出“加速—减速—加速—减速”的扩展特征,而拉萨表现出“减速—加速—减速”的扩展特征,两个城市主城区扩展速度最快的时期均为2000~2010年,10 a间扩展了23.22 km²和27.02 km²,扩展速度为2.32 km²/a和2.70 km²/a;西宁和拉萨在城市扩展比例上均呈现“降低—升高—降低”的趋势;西宁主城区城市扩展

呈现十字状的扩展态势,拉萨主城区城市扩展呈现圈层外延式的扩展模式。

(2)西宁和拉萨城市地表覆盖组分变化存在明显差异。西宁城市不透水层面积年均增长速度低于拉萨年均增长速度。2000~2018年,西宁和拉萨城市不透水层面积分别从 36.91 km^2 和 21.56 km^2 增加到 55.34 km^2 和 48.21 km^2 ,以年均 0.97 km^2 和 1.48 km^2 的速度增长了 18.43 km^2 和 26.65 km^2 ,城市绿地空间面积分别从 10.78 km^2 和 8.48 km^2 增加到 19.21 km^2 和 20.35 km^2 ,以年均 0.47 km^2 和 0.66 km^2 的速度增长了 8.43 km^2 和 11.87 km^2 ;西宁城市不透水层比例稳定下降,拉萨城市不透水层比例波动下降,但两城市的绿地空间比例均呈现波动上升趋势;西宁和拉萨城市不透水层在主城区中的占比分别由 74.09% 和 66.21% 下降到 69.82% 和 62.58% ,城市绿地空间占比分别由 21.64% 和 26.05% 上升到 24.24% 和 26.41% 。

(3)社会经济因素和政策因素对西宁和拉萨城市土地利用/覆盖变化的影响较大。西宁和拉萨城市人口增长、经济发展和国家相关政策与主城区城市扩展及其土地利用/覆盖变化密切相关,主城区城市扩展阶段与人口增长、经济发展阶段以及国家相关政策实施时间接近吻合。主城区土地利用/覆盖变化与城市规划相关政策高度相关,尤其是园林绿化建设,显著增加了城市绿地空间面积,城市绿地空间比例较2000年显著提升。

虽然研究揭示了人口、GDP和政策驱动对西宁和拉萨主城区城市土地利用/覆盖变化的影响,但实际上还受到地域文化、产业结构等诸多因素影响,尤其是在《关于新时代推进西部大开发形成新格局的指导意见》下如何更高质量、更有效率地促进西部城市经济发展,实现城市资源与环境相协调、人与自然和谐共生的目标,有待进行更加深入的研究。

参考文献(References):

- [1] Nations U. World urbanization prospects: The 2018 revision [M]. New York, NY, USA: United Nations Population Division, 2018.
- [2] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, *et al.* Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210. DOI: 10.1007/s11442-014-1082-6.
- [3] Kuang Wen Hui, Zhang Shuwen, Zhang Yangzhen, *et al.* Spatial structure developing process of urban land use of Changchun City in China in a history of 100 years [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2009, 41(7): 176-179. [匡文慧, 张树文, 张养贞, 等. 长春百年城市土地利用空间结构演变特征研究 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2009, 41(7): 176-179.]
- [4] Kuang W H. 70 years of urban expansion across China: trajectory, pattern, and national policies [J]. *Science Bulletin*, 2020, 65(23): 1970-1974. DOI: 10.1016/j.scib.2020.07.005.
- [5] Chi W F, Shi W J, Kuang W H. Spatio-temporal characteristics of intra-urban land cover in the cities of China and USA from 1978 to 2010 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 25(1): 3-18. DOI: 10.1007/s11442-015-1149-z.
- [6] Kuang Wenhui. Issues regarding on spatial pattern change of national land space and its overall implementation on beautiful vision in new era [J]. *Resources Science*, 2019, 41(1): 23-32. [匡文慧. 新时代国土空间格局变化和美丽愿景规划实施的若干问题探讨 [J]. *资源科学*, 2019, 41(1): 23-32.]
- [7] Li Zhili, Kuang Wenhui, Zhao Dandan. Coupled mechanism of population urbanization and land use in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration areas [J]. *Economic Geography*, 2020, 40(8): 67-75. [李智礼, 匡文慧, 赵丹丹. 京津冀城市群人口城镇化与土地利用耦合机理 [J]. *经济地理*, 2020, 40(8): 67-75.]
- [8] Meyfroidt P, de Bremond A, Ryan C M, *et al.* Ten facts about land systems for sustainability [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2022, 119(7): e2109217118. DOI: 10.1073/pnas.2109217118.
- [9] Wang L, Li C C, Ying Q, *et al.* China's urban expansion from 1990 to 2010 determined with satellite remote sensing [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(22): 2802-2812. DOI: 10.1007/s1434-012-5235-7.
- [10] Gao Jinlong, Chen Jianglong, Su Xi. Urban expansion and its driving mechanism in China: From three main schools' perspectives [J]. *Progress In Geography*, 2013, 32(5): 743-754. [高金龙, 陈江龙, 苏曦. 中国城市扩张态势与驱动机理研究学派综述 [J]. *地理科学进展*, 2013, 32(5): 743-754.]
- [11] Li Zhili, Kuang Wenhui, Zhang Shu. Remote sensing monitoring and spatiotemporal pattern of land use/cover change in built-up area of Tianjin in the Past 70 years [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2020, 35(3): 527-536. [李智礼, 匡文慧, 张澍. 近70 a天津主城区城市土地利用/覆盖变化遥感监测与时空分析 [J]. *遥感技术与应用*, 2020, 35(3): 527-536.]
- [12] Yin Z R, Kuang W H, Bao Y H, *et al.* Evaluating the dynamic changes of urban land and its fractional covers in Africa from 2000-2020 using time series of remotely sensed images on the big data platform [J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(21): 4288. DOI: 10.3390/rs13214288.
- [13] Kantakumar L N, Kumar S, Schneider K. Spatiotemporal urban expansion in pune metropolis, India using remote sensing [J]. *Habitat International*, 2016, 51: 11-22. DOI: 0.1016/j.habitatint.2015.10.007.

- [14] Zhang Yunyu. Spatial and temporal characteristics of urban expansion in Lhasa[J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2017(22): 64-66.[张芸毓. 拉萨市城市扩展时空特征分析[J]. 城市建设理论研究, 2017(22): 64-66.]
- [15] Zhang Kai, Xue Liang. Study on urban expansion in Shaanxi Province from 2000 to 2015 based on multi-source remote sensing data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2018, 33(6): 1170-1177.[张楷, 薛亮. 基于多源遥感数据的陕西2000~2015年城市扩展研究[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(6): 1170-1177.]
- [16] Wang Xinsheng, Liu Jiyan, Zhuang Dafang, *et al.* Spatial-temporal changes of urban spatial morphology in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(3): 392-400.[王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 392-400.]
- [17] Chen Qiong, Zhou Qiang, Liang Shengfu, *et al.* An analysis of land use pattern change of Xining city based on GIS[J]. Economic Geography, 2010, 30(2): 244-248.[陈琼, 周强, 梁生甫, 等. 西宁市主城区城市土地利用格局变化分析[J]. 经济地理, 2010, 30(2): 244-248.]
- [18] Huang J N, Lu X X, Sellers J M. A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 82(4): 184-197. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2007.02.010.
- [19] Gao Linghan, Zhao Pengxiang, Zhang Xiaoli, *et al.* Analysis on driving forces of spatiotemporal changes of land uses in Xining City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(2): 234-239.[高凌寒, 赵鹏祥, 张晓莉, 等. 西宁市主城区土地利用时空变化驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2017, 24(2): 234-239.]
- [20] Gao Ning, Gai Yingchun, Song Xiaoyu. Study of urban expansion and driving factors in Xi'an City based on nighttime light data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2019, 34(1): 207-215.[高宁, 盖迎春, 宋晓谕. 基于夜间灯光数据的西安市城市扩张及驱动因素研究[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(1): 207-215.]
- [21] Wu R, Li Z G, Wang S J. The varying driving forces of urban land expansion in China: Insights from a spatial-temporal analysis[J]. Science of The Total Environment, 2021, 766: 142591. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142591.
- [22] Kuang W H, Zhang S, Li X Y, *et al.* A 30-meter resolution dataset of China's urban impervious surface area and green space fractions, 2000-2018[J]. Earth System Science Data, 2021, 13(1): 63-82. DOI: 10.5194/essd-13-63-2021.
- [23] Kuang W H, Hou Y L, Dou Y Y, *et al.* Mapping global urban impervious surface and green space fractions using Google Earth Engine[J]. Remote Sensing, 2021, 13(20): 4187. DOI: 10.3390/rs13204187.
- [24] Zhang Yili, Li Bingyuan, Liu Linshan, *et al.* Redetermine the region and boundaries of Tibetan Plateau[J]. Geographical Research, 2021, 40(6): 1543-1553.[张懿锂, 李炳元, 刘林山, 等. 再论青藏高原范围[J]. 地理研究, 2021, 40(6): 1543-1553.]
- [25] Ning J, Liu J Y, Kuang W H, *et al.* Spatiotemporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(5): 547-562. DOI: 10.1007/s11442-018-1490-0.
- [26] Kuang W H, Du G M, Lu D S, *et al.* Global observation of urban expansion and land-cover dynamics using satellite big-data[J]. Science Bulletin, 2021, 66(4): 297-300. DOI: 10.1016/j.scib.2020.10.022.
- [27] Kuang Wenhui. Digital reconstruction, analysis and simulation of urban land use spatio-temporal information[M]. Beijing: Science Press, 2012.[匡文慧. 城市土地利用时空信息数字重建、分析与模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2012.]
- [28] Chen Xin, Kuang Wenhui. Remote sensing monitoring and comparison of urban land cover changes in typical cities in China-Kazakhstan arid region based on cloud platform[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(3): 548-557.[陈馨, 匡文慧. 基于云平台的中哈干旱区典型城市地表覆盖变化遥感监测与比较[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(3): 548-557.]
- [29] Kuang W H, Yan F Q. Urban structural evolution over a century in Changchun City, Northeast China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(12): 1877-1895. DOI: 10.1007/s11442-018-1569-7.
- [30] Kuang W H. National urban land-use/cover change since the beginning of the 21st century and its policy implications in China[J]. Land Use Policy, 2020, 97: 104747. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104747.
- [31] Wu C Y, Huang X J, Chen B W. Telecoupling mechanism of urban land expansion based on transportation accessibility: A case study of transitional Yangtze River economic belt, China[J]. Land Use Policy, 2020, 96: 104687. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104687.
- [32] He Minghua, Liu Fenggui, Tang Zhongxia, *et al.* Research on the intensive use of urban land in Xining City[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(3): 44-49.[何明花, 刘峰贵, 唐仲霞, 等. 西宁市城市土地集约利用研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(3): 44-49.]
- [33] Li Xiaoning, Man Yanyun. Analysis of land intensive use in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Commercial Times, 2014(26): 131-134.[李晓宁, 满燕云. 京津冀城市群土地集约利用分析[J]. 商业时代, 2014(26): 131-134.]
- [34] Liu Zhiqiang, Xing Linlin. Research on the spatial distribution and variation characteristics of urban green level in China[J]. Northern Horticulture, 2016(6): 74-79.[刘志强, 邢琳琳. 我国城市绿地水平空间分布及变化特征研究[J]. 北方园艺, 2016(6): 74-79.]
- [35] Li Fengtong, Zhu Chunlai. Study on the gardens city construction in Xining[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(11): 84-85, 153.[李凤桐, 朱春来. 西宁市园林城市建设研究[J]. 河北农业科学, 2009, 13(11): 84-85, 153.]
- [36] Zhang Zengxiang. Remote sensing detection of urban expansion

sion in China[M]. Beijing: Star Map Press, 2006.[张增祥. 中国城市扩展遥感检测[M]. 北京: 星球地图出版社, 2006.]

[37] Ren Dezhi, Zhou Xin, Guo Qiqiang, *et al.* Urban greening

status and countermeasures in Lhasa [J]. Beijing Agriculture, 2014(15): 254-256.[任德智, 周鑫, 郭其强, 等. 拉萨城市绿化现状及对策[J]. 北京农业, 2014(15):254-256.]

Reconstructing Urban Expansion and Analyzing Land Cover Change of Xining and Lhasa in the Past 70 Years based on Multi-source Spatiotemporal Information

Guo Changqing¹, Zhang Xuexia¹, Hou Yali^{2,3}, Kuang Wenhui²

(1.Key Laboratory of State Forestry Administration of Soil and Water Conservation, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2.Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The cities of Xining and Lhasa are hot spots of human activities on the Qinghai-Tibet Plateau, and their development process has an important impact on the socio-economic development of the Qinghai-Tibet Plateau. This paper reconstructed urban expansion in Xining and Lhasa cities based on remote sensing images, urban planning maps and historical maps in circa 1949, circa 1978, 1990, 2000, 2010 and 2018, and urban impervious surface and green space component information since 2000. We analyzed the temporal and spatial characteristics of urban expansion in built-up area of Xining and Lhasa since circa 1949, and revealed the characteristics of the impact of socioeconomic factors and policy factors on urban land use/cover changes. The results show that: (1) Since the founding of the People's Republic of China, built-up area of Xining and Lhasa has continued to expand, showing a non-linear growth trend. The urban land area has increased from 1.98 km² and 1.10 km² in circa 1949 to 79.26 km² and 77.04 km² in 2018. The urban expansion of Xining's built-up area presents a cross-shaped expansion trend, and Lhasa presents a circle-extensive expansion mode; (2) Since 2000, the urban greening level of Xining and Lhasa has improved significantly. From 2000 to 2018, the urban impervious surface area of Xining and Lhasa increased from 36.91 km² and 21.56 km² to 55.34 km² and 48.21 km², and the urban green space area increased from 10.78 km² and 8.48 km² to 19.21 km² and 20.35 km², and the average annual expansion rates were 0.47 km²/a and 0.66 km²/a. The percentage of impervious surface in the built-up area has dropped from 74.09% and 66.21% to 69.82% and 62.58%, and the proportion of urban green space has increased from 21.64% and 26.05% to 24.24% and 26.41%; (3) Xining and Lhasa's urban population growth, economic development and relevant national policies are closely related with the urban expansion of the main urban area and its land use/cover changes. The urban expansion stage of the built-up area is related with the population growth, economic development stage and the implementation time of relevant national policies. Land use/cover change in built-up area is highly related with urban planning-related policies, especially landscaping construction, which has significantly increased the area of urban green space, and the proportion of urban green space has increased significantly compared with 2000.

Key words: Urban expansion; Urban land use/cover change; Impervious surface; Remote sensing monitoring