

doi: 10.6046/gtzyyg.2018.01.23

引用格式: 刘佳,辛鑫,刘斌,等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光影像的 2000—2013 年鄂尔多斯市城市扩张遥感制图与驱动因子分析[J]. 国土资源遥感,2018,30(1):166–172. (Liu J,Xin X,Liu B,et al. Urban expansion mapping and driving factor analysis of Ordos City during the period of 2000—2013 based on DMSP/OLS nighttime light data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018,30(1):166–172.)

基于 DMSP/OLS 夜间灯光影像的 2000—2013 年鄂尔多斯市城市扩张遥感制图与驱动因子分析

刘 佳^{1,2}, 辛 鑫¹, 刘 斌¹, 邸凯昌¹, 岳宗玉¹, 王承安²

(1. 中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室,北京 100101; 2. 内蒙古师范大学遥感与地理信息系统重点实验室,呼和浩特 010010)

摘要: 内蒙古自治区鄂尔多斯市在过去十几 a 中经历了经济的飞速发展与城市的快速扩张,目前却面临着经济发展的停滞与城市转型。对鄂尔多斯市城市扩张及其驱动因子在时间及空间尺度上的分析,可为鄂尔多斯市的城镇化发展规划提供参考信息。利用 DMSP/OLS 夜间灯光(nighttime light, NTL)遥感数据,并结合 Landsat 影像数据,对鄂尔多斯市 2000—2013 年间城市扩张进行遥感制图和信息提取;应用基于稳定映射点 NTL 影像间辐射校正方法和支持向量机(support vector machine, SVM)算法,并结合阈值法进行数据校正和建成区面积提取。经分析发现鄂尔多斯市分 3 个阶段扩张,并提出应用组合分析的方式对城市扩张驱动因子进行定量分析。

关键词: 城市扩张; DMSP/OLS 夜间灯光(NTL)数据; 辐射校正; 建成区面积提取; 多元回归分析

中图法分类号: TP 751.1; P 236 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2018)01-0166-07

0 引言

改革开放以来,内蒙古自治区各个盟市利用资源与能源优势,实现了快速发展;同时也带来了城市扩张和土地利用与覆盖的改变。其中最典型的城市为鄂尔多斯市。鄂尔多斯市地处内蒙古自治区西南部的鄂尔多斯高原腹地,东、北、西 3 面为黄河所环绕,分别与山西省忻州市,内蒙古自治区呼和浩特市、包头市、巴彦淖尔盟、阿拉善盟及宁夏回族自治区隔河相望;南临古长城与内蒙古自治区乌海市、陕西省榆林市接壤。地理坐标为 E106°42′40″~111°27′20″, N37°35′24″~40°51′40″。全市土地总面积约 8.68 万 km²,总人口为 194.07 万人(数据来源于全国第 6 次人口普查)^[1]。近年来,鄂尔多斯市经济进入飞速发展的阶段,特别自 2010 年至今,鄂尔多斯市国民生产总值始终位居内蒙古自治区第一,占全区国民生产总值的 23%。能源以及矿产资源的优势拉动着鄂尔多斯市经济的进步,从而带动了其城市建设与城镇化进程的加快。然而,2011 年

全球煤炭价格下跌,使得主要依靠煤炭资源发展经济的鄂尔多斯市遭遇到前所未有的冲击。面临着经济发展的停滞与城市转型,亟需获取鄂尔多斯市建成区信息并进行城市空间扩张研究,以便为鄂尔多斯市的城镇化发展规划提供参考信息。

遥感技术可快速获取城镇信息,在时效性和经济性方面具有优势,可帮助获得城市在某一时段的发展情况,满足获取建成区信息并进行城市空间扩张研究的需求。DMSP/OLS 夜间灯光(nighttime light, NTL)影像是美国军事气象卫星计划(defense meteorological satellite program, DMSP)卫星搭载的 OLS(operational linescan system)传感器获得的空间分辨率为 1 000 m 的全球 NTL 影像数据。DMSP/OLS NTL 影像自发布以来,国内外学者基于 NTL 影像展开了大量的研究,包括城市面积提取、城市扩张分析、城镇化水平估计和人口建模分析等^[2-4]。范俊甫等^[5]利用 DMSP/OLS NTL 影像对环渤海城市群空间格局变化分析的研究中发现,NTL 数据提取结果的噪声水平较低,更能直观地反映地表人类活动密集的空间范围;在大时空尺度下进行城市区域

范围提取时,用 DMSP/OLS NTL 数据提取照亮区域并估算城市建成区面积是一种简便、可行的方法。另外,Zhou 等^[6]提出采用训练最优阈值法来提取城市建成区面积,找出潜在的城市群,并对其进行分割绘制;用像元均值和城市群分割值建立对数模型进行拟合,从而评估最优阈值;利用线性回归方法分析阈值的精度;应用最优阈值法绘制城市扩张轮廓图。结果表明,最优阈值随着城市群分割值的增大而增大;对数模型解决了传统运用单一经验阈值过小或过大评估城区面积的弊端,而且利用对数模型判断美国和中国的城市群,阈值相关性强、精度高。综合诸多研究成果发现,NTL 数据在研究城市扩张方面具有数据量小和以城镇为靶区的优势,能够很好地探测城市灯光,有效避免植被等信息引起的光谱干扰,使灯光像元明显的城区与黑暗的乡村区分开来,为城镇的扩张监测与分析研究提供了直接、省时、精确的方法^[7-10]。

随着遥感技术的不断发展,NTL 数据产品的精度不断提高,近年发布的 NTL 数据均消除了云、水光及火光等噪声的干扰,不需要人为控制即可直接进行长时间序列的城市监测和扩张分析;同时,NTL 数据在夜间获取,不受自然光照的影响,能够很好地用于对城镇化进程的动态监测。由于不同城市的区域环境背景不同,城市的发展模式也不尽相同,因此采用的数据处理和分析方法也有所不同。本文利用 DMSP/OLS NTL 影像并与 Landsat 光学影像相结合,应用阈值法、结合支持向量机(support vector machine,SVM)算法,对内蒙古自治区鄂尔多斯市 2000—2013 年间的建成区面积进行提取;并进行长时间序列的多元线性回归分析,得到鄂尔多斯市在经历了经济发展黄金时期及能源危机后的城市空间扩张情况及其驱动因子。

1 数据源及其预处理

1.1 数据源

1.1.1 DMSP/OLS NTL 影像

DMSP/OLS NTL 数据主要包含稳定灯光数据、辐射定标夜间灯光强度数据及非辐射定标夜间灯光强度数据 3 种产品,传感器包含 62 bit 的可见光、近红外通道和 82 bit 的热红外通道,并且每一个传感器每天都能获得覆盖全球的黑夜和白天的影像,整个卫星系统每天能提供全球黎明、白天、黄昏和夜晚 4 个时段的观测数据^[11]。本文使用的数据是从 NOAA 网站(<http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/download.html>)下载的去除噪声的平均 DN 值影像,DN

值范围为 0~63,时间序列为 2000—2013 年。在获取内蒙古自治区鄂尔多斯市 NTL 影像后,将其重投影为摩尔韦德等面积投影,以便于建成区面积提取与分析。

1.1.2 Landsat TM 影像

美国陆地卫星计划发射的 Landsat 系列卫星,其获取的影像空间分辨率为 30 m,每景影像对应实地面积均为 185 km×185 km。Landsat 系列卫星主要用于研究地貌和植被生长状况、预报自然灾害和环境污染、拍摄各种目标影像和绘制各种专题图等。本文从中科院计算机网络信息中心创建的地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/search>)下载的 2000—2013 年间云量最少、质量较好的 Landsat4/5TM 卫星数字产品,通过辐射定标和大气校正处理,选择 TM 影像 B5(R),B4(G),B3(B)假彩色合成影像;并对鄂尔多斯市建成区面积进行感兴趣区选取和样本训练,然后来用 SVM 算法进行分类。其结果用于对 DMSP/OLS NTL 影像动态二分阈值法提取的建成区面积进行精度验证,并辅助实现最优阈值的控制和选取。

1.2 DMSP/OLS 数据辐射校正

最初获得 NTL 影像的 OLS 传感器没有做星上定标^[11-13],因而使多个卫星获取的长时间序列数据缺乏可比性。为了更好地对 2000—2013 年间获取的 NTL 数据进行比较分析,本文利用刘斌等^[14]提出的基于稳定映射点的 NTL 影像间相互辐射校正方法对 NTL 影像进行校正。

该方法通过概率统计,选择影像间稳定的映射点作为校正参考点,并结合更加符合 NTL 数据间相对特性的有理函数模型拟合计算校正参数;该有理函数作为校正线性回归模型,能有效表征城区亮度饱和和区域等特殊情况下 NTL 数据的辐射对应关系,使校正精度更高。通过稳定映射点相互辐射校正进行各个年份的年际校正和年间校正,从而实现所有年份的数据都能够放在相同的投影坐标系下进行像元灰度值(DN 值)的提取和分析。有理函数模型公式为

$$DN_{(c,i)} = \frac{P_1 DN_{(n,i)}^2 + P_2 DN_{(n,i)} + P_3}{DN_{(n,i)}^2 + Q_1 DN_{(n,i)} + Q_2}, \quad (1)$$

式中: n 为年份, $n=2000,2001,\cdots,2013$; $DN_{(c,i)}$ 为参考影像中稳定映射点的灰度值数据; $DN_{(n,i)}$ 为待校正年份影像对应稳定映射点的灰度值数据; P_1, P_2, P_3, Q_1 和 Q_2 分别为辐射校正参数。

同一年份辐射校正前、后的 DMSP/OLS NTL 影像对比如图 1 所示。

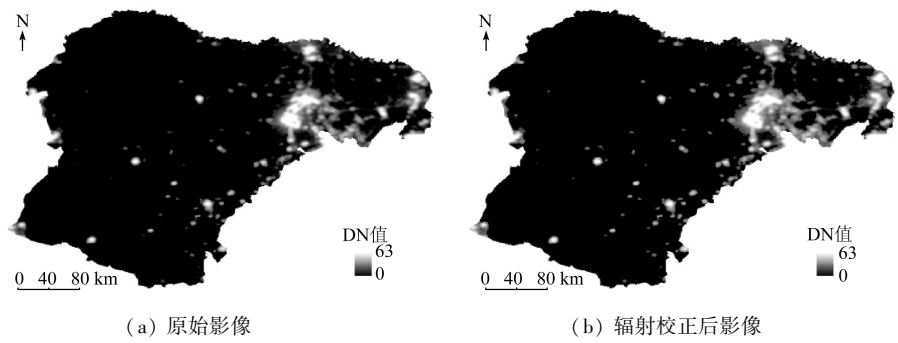


图 1 研究区原始 DMSP/OLS NTL 影像和辐射校正后影像

Fig. 1 Original and radiometrically corrected DMSP/OLS NTL images in study area

2 城市扩张遥感制图

2.1 建成区面积提取

利用 DMSP/OLS NTL 数据提取城市建成区面积的主要方法包括阈值法和分类法^[5-10]。阈值法是通过 NTL 数据选取合适的阈值来提取建成区信息；分类法则是将建成区信息的提取过程看成是城镇和非城镇地区的分类过程。阈值法需要对表征建成区的最优阈值进行确定；分类法则要训练建成区与非建成区样本,采用计算机自动或者半自动分类的方式来实现建成区面积的提取,二者侧重点不同且各有优缺点。同时,随着研究区的经济发展状况、人口基数等因素的不同,采用不同方法提取建成区信息的精度也不能一概而论。

本文对研究区建成区面积的提取方法结合了阈值法和分类法 2 种方法的优点。首先,在 TM 影像上选取 2 类感兴趣区,训练城市建成区样本和非建成区样本,其中建成区样本主要包括市区集中连片的开发区以及郊区有完善公共设施的城市建设用地(如机场、污水处理厂等),而非建成区样本主要选择除建成区用地以外的区域(如水体、裸地和沙漠等);然后,运用 SVM 算法进行分类,对分类后的影像进行聚类处理和真实建成区像元判定,得到城市建成区面积;接着对处理过的 DMSP/OLS NTL 数据

进行不断的动态二分阈值处理来提取建成区面积,在这个过程中,提取的建成区面积会逐步逼近 SVM 分类后的建成区面积;当用 TM 影像与 DMSP/OLS NTL 影像提取的建成区面积无限逼近,达到最大程度的重叠时,此时的阈值就作为该年 NTL 数据的最优阈值。具体操作流程如图 2 所示。

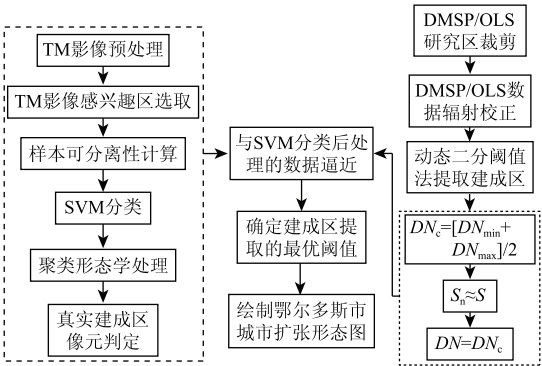


图 2 城市扩张制图流程

Fig. 2 Flowchart of urban expansion mapping

采用 SVM 分类可以使城市建成区面积的提取更加精确。通过 TM 影像辅助选取的阈值避免了单纯采用统计年鉴数据控制下选取阈值的误差,最优阈值的确定使计算速度加快,并为应用 NTL 数据提取建成区面积提供了可靠的保障。选取鄂尔多斯市东胜区部分图斑效果较好的影像进行 SVM 分类,并与用动态二分阈值法提取的建成区面积进行空间叠置对比,如图 3 所示。

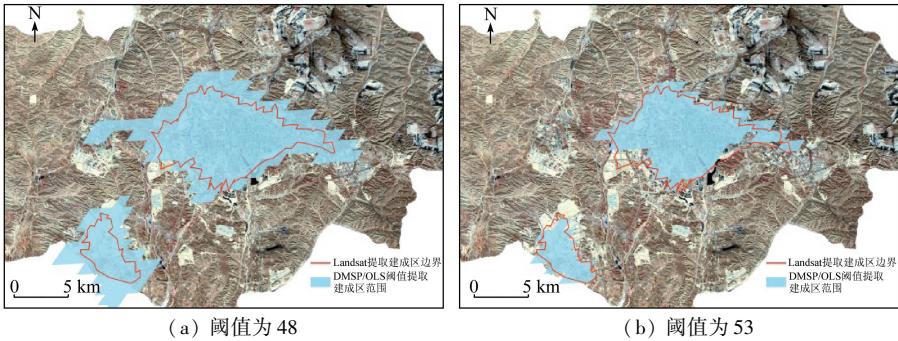


图 3 DMSP/OLS NTL 影像阈值法与 Landsat 影像 SVM 分类提取建成区结果对比

Fig. 3 Comparison of extracted built-up areas between thresholding of DMSP/OLS NTL image and SVM classification of Landsat image

当阈值等于 53 时,用 2013 年获取的 DMSP/OLS NTL 影像与同年 TM 影像提取的建成区面积最为相近,因此选取 53 为 2013 年的最优阈值;若采用 48 作为阈值,则建成区面积比 SVM 训练样本提取的建成区面积大得多,如此提取的建成区误差很大,因此不予选取。

利用上述方法确定 2000—2013 年间研究区每年的最优阈值,分别进行建成区面积提取;并计算、统计 2000—2013 年间研究区建成区面积,绘制城市扩张的空间叠置图(图 4)。

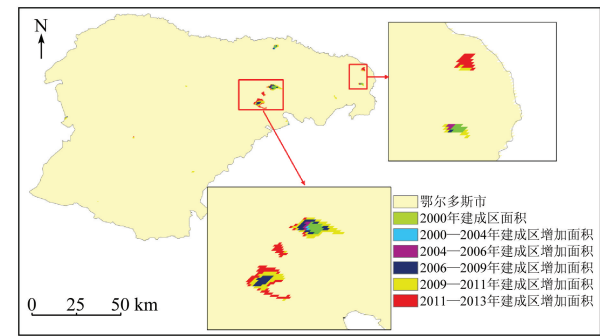


图 4 2000—2013 年间研究区城市扩张空间形态
Fig. 4 Spatial form of urban expansion in study area from 2000 to 2013

从图 4 可以看出,2000 年研究区建成区范围主要分布在鄂尔多斯市东部;到 2013 年建成区图斑逐步向东南方向增多,中部地区也有小幅增加。2009—2011 年间建成区图斑大量增加,当时鄂尔多斯市正处于煤炭发展的黄金时期,东胜区和康巴什新区建设了大量的楼房与公园,大量投资商与开发

$$\partial_{n+1} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{Y_{n+1} - Y_n}{X_{n+1} - X_n}\right) & \text{当 } X_{n+1} - X_n \geq 0 \text{ 时} \\ \pi - \arctan\left(\frac{Y_{n+1} - Y_n}{X_{n+1} - X_n}\right) & \text{当 } X_{n+1} - X_n < 0 \text{ 时} \end{cases}, \quad (3)$$

式中 ∂_{n+1} 为空间重心转移方向与正东方向的夹角。
利用 ArcGIS10.2 软件提取历年研究区建成区图斑重心,并计算重心迁移方向和迁移距离(图 6)。

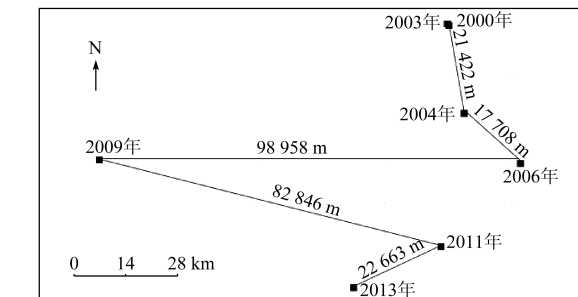


图 6 研究区建成区重心迁移方向及距离
Fig. 6 Migration direction and distance of gravity center of built-up areas in study area

图 6 中 2003 年重心位置与 2000 年相差无几,

商参与经济开发与城市建设,致使建成区面积迅速膨胀。建成区面积扩张趋势如图 5 所示。

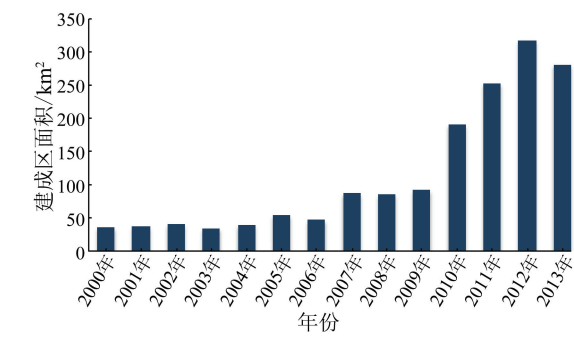


图 5 研究区建成区面积扩张趋势
Fig. 5 Trend chart of build-up area expansion in study area

对比统计年鉴得知,2009 年鄂尔多斯市人口密度由 2004 年的 481 人/ km^2 增加到 3 451 人/ km^2 ,到 2011 年达到最大值(3 843 人/ km^2),是 2004 年的近 8 倍。

2.2 城市扩张方向与距离

空间重心是描述地理对象空间分布的一个重要指标,常用于城市演变和土地利用类型变化研究^[15-17]。城市的空间重心迁移距离公式为

$$OD_{n+1} = \sqrt{(X_{n+1} - X_n)^2 + (Y_{n+1} - Y_n)^2}, \quad (2)$$

式中: OD_{n+1} 为空间重心转移距离; X 和 Y 分别为某一年地理单元重心的横、纵坐标。

空间重心转移角度计算公式为

$$\partial_{n+1} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{Y_{n+1} - Y_n}{X_{n+1} - X_n}\right) & \text{当 } X_{n+1} - X_n \geq 0 \text{ 时} \\ \pi - \arctan\left(\frac{Y_{n+1} - Y_n}{X_{n+1} - X_n}\right) & \text{当 } X_{n+1} - X_n < 0 \text{ 时} \end{cases}, \quad (3)$$

故计算 2000—2004 年间变化来显示。综合分析图 5 和图 6 可以看出,研究区城市扩张主要分 3 个阶段:①2000—2006 年间,建成区面积变化趋近一致,重心向东南迁移 37 051 m,迁移方向与正东方向夹角 62.37°;②2007—2009 年间,建成区面积扩张接近 2000—2006 年间的一倍,此 3 a 间面积增加水平一致,重心未超过 1°偏差(几乎是水平),向正西方向迁移了 98 958 m;③2010—2013 年间,建成区面积迅速扩张,重心逐步向东南方向迁移发展,迁移距离为 66 889 m,迁移方向与正东方向夹角为 26.68°。

3 城市扩张驱动因子分析

城市在发展过程中会受到社会经济要素和政策方面等因素的影响,因此在多种影响因子作用下形

成的城市空间形态也是多种多样的。经济的发展推动着城镇化的步伐,产业结构的调整为城市建设增添了强劲的动力,城市扩张驱动因子分析对研究区域经济和生态环境问题具有重要意义^[18-19]。

3.1 社会经济要素

结合内蒙古自治区和鄂尔多斯市近年来的发展情况,通过定性分析得出:总人口数(X_1)、国民生产总值(X_2)、电力消费量(X_3)、建成区面积(X_4)、市区人口密度(X_5)以及房屋建筑施工面积(X_6)是影

响鄂尔多斯市 NTL 影像明暗变化比较显著的社会经济因子。利用 SPSS 统计软件,将这 6 个因子与 NTL 影像 DN 值的均值进行相关性分析,得到 X_1 — X_6 与 DN 值均值的皮尔森相关系数 R 均大于 0.75,显著性 (sig) 检验值都小于 0.05,证明其间均呈显著正相关^[20]。图 7 示出因子相关性检验结果,图 7 中的 R^2 为相关系数,其可以解释为对于 DN 值均值的变化情况, X_1 — X_6 的贡献率分别为 86%,91.5%,89.9%,77.9%,85.2% 和 62%。

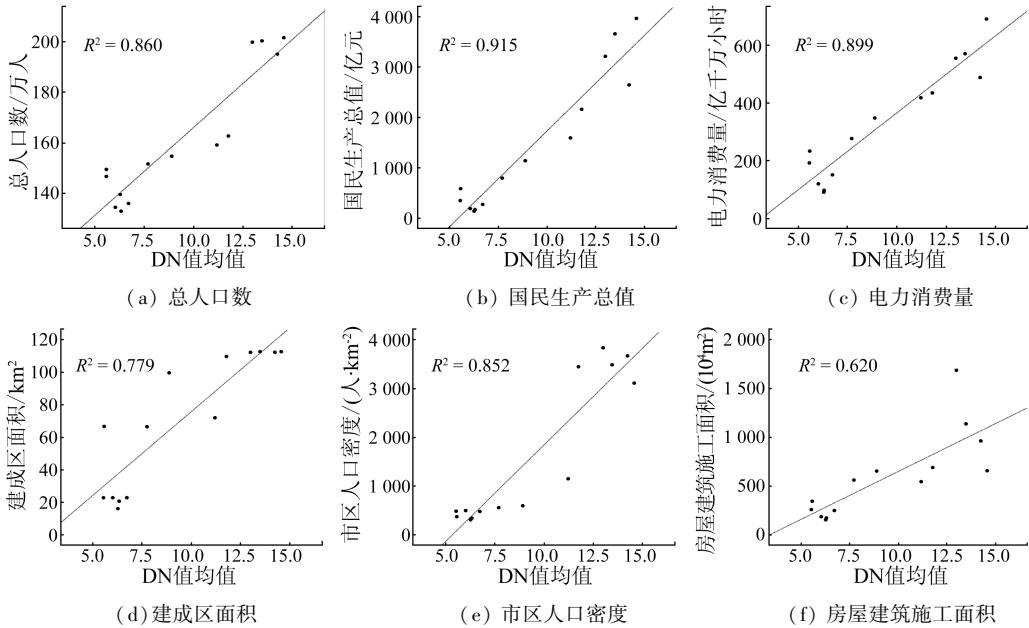


图 7 6 个因子相关性检验结果

Fig. 7 Correlation test results of six factors

在线性分析中,调整的判定系数考虑了平均的剩余平方和,克服了因增加驱动因子造成判定系数也增加的弱点,所以在进行拟合优度检验时,使用的都是调整后的判定系数(表 1)。

表 1 驱动因子组合分析结果

Tab. 1 Joint analysis results of driving factors

因子	一元线性回归分析 调整后的判定系数	因子组合	多元线性回归分析 调整后的判定系数	因子组合	多元线性回归分析 调整后的判定系数	因子组合	多元线性回归分析 调整后的判定系数
X_1	0.849	X_1X_2	0.899	X_2X_4	0.907	X_4X_5	0.874
X_2	0.908	X_1X_3	0.890	X_2X_5	0.914	X_4X_6	0.754
X_3	0.890	X_1X_4	0.863	X_2X_6	0.899	X_5X_6	0.826
X_4	0.761	X_1X_5	0.880	X_3X_4	0.881		
X_5	0.839	X_1X_6	0.835	X_3X_5	0.881		
X_6	0.588	X_2X_3	0.904	X_3X_6	0.884		

从 NTL 影像明暗与 6 个驱动因子及其组合之间回归分析结果可以看出,鄂尔多斯市 NTL 与建成区面积(X_4)、房屋建筑施工面积(X_6)的拟合优度最差,与国民生产总值(X_2)、电力消费量(X_3)的拟合优度最好。在两两组合的多元线性回归分析中,市区人口密度(X_5)为增强因子。因此,利用 NTL 数据对鄂尔多斯市这种特殊发展阶段的城市监测其建成区面积与房屋建筑施工面积效果并不显著,而监测

国民生产总值及电力消耗情况较为有效。市区人口密度作为增强因子,在两两组合中都能提高相关性,可见人口密度的变化也是导致鄂尔多斯市城市扩张不可忽视的因素。

3.2 政策诱因

2004 年煤炭价格暴涨使拥有全国煤炭储量 1/6 的鄂尔多斯市一夜暴富,各地的投资商和考察团纷纷来到鄂尔多斯市参与煤炭开采和城市建设。为了

拉动人气和满足日益增长的人口需求,鄂尔多斯市政府决定环绕乌兰木伦河建设康巴什新区。2006 年鄂尔多斯市政府正式搬入康巴什新区,市直属机关、学校和医院等也陆续入驻康巴什新区,人员大量涌入新城并参与建设。从 2006 年开始鄂尔多斯市建成区图斑大量增加,城市扩张迅速。

2009 年东胜区房地产“十二五”规划计划打造双百城市(即百年鄂尔多斯、城市核心区(东胜区和康巴什新区)达到百万人口),该规划直接导致城市的大面积建设与扩张。由于政府的支持和政策的主导使鄂尔多斯市飞速进入前所未有的扩张与发展中。

4 结 论

1)利用支持向量机分类算法结合阈值法得到鄂尔多斯市建成区面积提取的最优阈值,从而在长时间序列上绘制出鄂尔多斯市城市扩张空间形态图。利用该图能有效进行城市建成区监测及城市扩张分析。

2)提出了多因子组合分析的方法进行基于 DMSP/OLS NTL 卫星数据的城市扩张的驱动因子分析。分析结果不仅证明了各社会经济因子与夜间灯光明暗变化的相关性,而且发现在 NTL 卫星数据相关性监测中,最大的单因子是鄂尔多斯市国民生产总值,双因子是国民生产总值加市区人口密度。以政府为主导的政策因子也对鄂尔多斯市城市扩张在很大程度上起到了驱动作用。对城市扩张驱动因子的研究有助于对今后城市规划以及资源配置和产业结构调整等提供参考。

参考文献 (References):

[1] 吴艳茹,周瑞平. 鄂尔多斯市资源型城市的经济转型模式研究[J]. 内蒙古师范大学学报(哲学社会科学版),2015,44(5): 47-49.
Wu Y R,Zhou R P. Research on the economic transformation mode of Erdos as a city of resources[J]. Journal of Inner Mongolia Normal University(Philosophy and Social Science),2015,44(5):47-49.

[2] 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.

[3] Elvidge C D,Imhoff M L,Baugh K E,et al. Night-time lights of the world: 1994—1995[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2001,56(2):81-99.

[4] 李德仁,李 熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报,2015,44(6):591-601.
Li D R,Li X. An overview on data mining of nighttime light remote

sensing[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2015,44(6):591-601.

[5] 范俊甫,马 廷,周成虎,等. 1992—2010 年基于 DMSP-OLS 图像的环渤海城市群空间格局变化分析[J]. 地球信息科学学报,2013,15(2):280-288.
Fan J F, Ma T,Zhou C H,et al. Changes in spatial patterns of urban landscape in Bohai Rim from 1992 to 2010 using DMSP-OLS data[J]. Journal of Geo-Information Science,2013,15(2):280-288.

[6] 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.

[7] 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. doi:10.6046/gtzyyg.2013.03.26.
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 and Resources,2013,25(3):159-164. doi:10.6046/gtzyyg.2013.03.26.

[8] 王海羽,庞小平,李艳红,等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的武汉城市圈拓展研究[J]. 测绘地理信息,2015,40(1):80-83.
Wang H Y,Pang X P,Li Y H,et al. Urban expansion in the Wuhan City circle using DMSP/OLS nighttime light data[J]. Journal of Geomatics,2015,40(1):80-83.

[9] 杨 洋,何春阳,赵媛媛,等. 利用 DMSP/OLS 稳定夜间灯光数据提取城镇用地信息的分层阈值法研究[J]. 中国图象图形学报,2011,16(4):666-673.
Yang Y,He C Y,Zhao Y Y,et al. Research on the layered threshold method for extracting urban land using the DMSP/OLS stable nighttime light data[J]. Journal of Image and Graphics,2011,16(4):666-673.

[10] 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 build-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.

[11] Elvidge C D,Ziskin D,Baugh K E,et al. A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data[J]. Energies,2009,2(3):595-622.

[12] Liu Z F,He C Y,Zhang Q F,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.

[13] 邹进贵,陈艳华,田 径,等. 基于 ArcGIS 的 DMSP/OLS 夜间灯光影像校正模型的构建[J]. 测绘地理信息,2014,39(4):33-37.
Zou J G,Chen Y H,Tian J,et al. Construction of the calibration model for DMSP/OLS nighttime light images based on ArcGIS[J]. Journal of Geomatics,2014,39(4):33-37.

[14] 刘 斌,邸凯昌,辛 鑫,等. 一种基于稳定映射点夜间灯光影像间相互辐射校正方法:中国,CN201610115608.8[P/OL]. 2015-05-04 [2016-07-21]. [http://www. soopat. com/Patent/](http://www.soopat.com/Patent/)

201610115608.

Liu B, Di K C, Xin X, et al. Night lamplight image interaction radiation correction method based on stable mapping points; China, CN201610115608.8[P/OL]. 2015-05-04[2016-07-21]. <http://www.sopat.com/Patent/201610115608>.

[15] 张新乐, 张树文, 李颖, 等. 近30年哈尔滨城市土地利用空间扩张及其驱动力分析[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 157-163.

Zhang X L, Zhang S W, Li Y, et al. Spatial expansion of urban land use and its driving forces in Harbin City over the past 30 years[J]. Resources Science, 2007, 29(5): 157-163.

[16] 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. doi:10.6046/gtzyyg. 2014. 01. 05.

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 and Resources, 2014, 26(1): 83-89. doi:10.6046/gtzyyg. 2014. 01. 05.

[17] 刘婷婷. 城市用地空间扩张特征与机理探究[J]. 科技展望, 2015, 25(25): 226-227.

Liu T T. Urban land use spatial expansion characteristic and mechanism[J]. Science and Technology, 2015, 25(25): 226-227.

[18] 徐梦洁, 陈黎, 刘焕金, 等. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的长江三角洲地区城市化格局与过程研究[J]. 国土资源遥感, 2011, 23(3): 106-112. doi:10.6046/gtzyyg. 2011. 03. 18.

Xu M J, Chen L, Liu H J, et al. Pattern and process of urbanization in the Yangtze Delta based on DMSP/OLS data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2011, 23(3): 106-112. doi:10.6046/gtzyyg. 2011. 03. 18.

[19] 李宗光, 胡德勇, 李吉贺, 等. 基于夜间灯光数据的连片特困区GDP估算及其空间化[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(2): 168-174. doi:10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 26.

Li Z G, Hu D Y, Li J H, et al. Simulation and spatialization of GDP in poverty areas based on night light imagery[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2016, 28(2): 168-174. doi:10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 26.

[20] 张文彤, 闫洁. SPSS统计分析基础教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.

Zhang W T, Yan J. Basic Tutorial of SPSS Statistical Analysis[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.

Urban expansion mapping and driving factor analysis of Ordos City during the period of 2000—2013 based on DMSP/OLS nighttime light data

LIU Jia^{1,2}, XIN Xin¹, LIU Bin¹, DI Kaichang¹, YUE Zongyu¹, WANG Cheng'an²

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China; 2. Inner Mongolia Autonomous Region Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information System, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010010, China)

Abstract: In the past decade, Ordos City of Inner Mongolia experienced rapid development of economy and rapid urban expansion, and now it is facing the stagnation of economic development and urban transformation. Urban expansion mapping and driving factor analysis at temporal and spatial scales could provide valuable information for the urbanization development planning of Ordos. Using the DMSP/OLS nighttime light (NTL) data combined with Landsat image, the authors compiled urban expansion maps for the period from 2000 to 2013. The build-up areas were extracted using a radiometric correction method based on the stable point NTLs, support vector machine (SVM) classification and thresholding techniques. The statistical analysis results show that the expansion of Ordos City can be mainly divided into three stages, and the driving factors of urban expansion could be quantitatively analyzed using the portfolio analysis method.

Keywords: urban expansion; DMSP/OLS nighttime light (NTL) data; radiometric correction; build-up area extraction; multiple regression analysis

(责任编辑: 陈理)