

陈世莉, 陈浩辉, 李郇. 夜间灯光数据在不同尺度对社会经济活动的预测 [J]. 地理科学, 2020, 40(9): 1476-1483. [Chen Shili, Chen Haohui, Li Xun. The ability of nighttime imagery in monitoring economic activity in different scales. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(9): 1476-1483.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2020.09.009

夜间灯光数据在不同尺度对社会经济活动的预测

陈世莉¹, 陈浩辉², 李郇^{3,4}

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. Data61 澳大利亚联邦科学与工业研究组织, 澳大利亚 墨尔本 3008; 3. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275; 4. 中山大学中国区域协调发展与乡村建设研究院, 广东 广州 510275)

摘要: 以广东省为研究范围, 采用双对数线性回归模型、香农信息熵模型和差别指数模型, 从 21 个尺度分析 NPP-VIIRS 夜间灯光数据与经济普查数据中的企业数、企业从业人员数、营业收入以及资产总值的相关性。结果显示: ① 夜间灯光数据对经济活动的预测精度随尺度的增大而提升, 在预测能力上, 城市尺度高于镇街尺度, 镇街尺度高于 500 m 网格尺度。② 在更为精细的 19 个网格尺度分析中发现, 1 km 网格尺度出现预测精度的显著提升, 在 10 km 网格尺度预测精度提升相对较高并达到了 0.69, 在 35 km 网格尺度预测精度开始趋于稳定, 不再随着网格尺度显著增长。③ 在 0.5~50 km 网格尺度之间, 网格尺度越精细, 产业类型越呈现单一和不均衡分布的发展特征。随着网格尺度的增加, 研究区内的产业类型越趋于多样化和均衡分布的发展特征。

关键词: 夜间灯光数据; 经济普查数据; 线性回归模型; 香农信息熵; 差别指数

中图分类号: K909 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2020)09-1476-08

社会经济预测研究对经济结构转型和可持续发展至关重要, 传统研究面临数据分辨率低^[1]、获取成本高^[2]、准确性受质疑^[3]、偏远地区数据缺失^[3]等问题。随着遥感技术的进步, 美国国家海洋和大气管理局于 1992 年公开 DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program) 卫星数据, 大量学者开始基于夜间灯光开展经济活动的预测研究^[4,5]。在全球和国家尺度上, 学者 Elvidge 等发现 DMSP/OLS 与 GDP 呈现显著的对数和线性关系^[4,6], 相关性达到了 0.97。在区域尺度上, 学者 Ghost 等发现 DMSP/OLS 与美国各州的人口和经济数据的相关性都超过 0.8^[7]。在城市尺度上, 学者 Henderson 等基于 DMSP/OLS 提取出经济发展差异地区^[8]。已有研究证实 DMSP/OLS 存在空间分辨率低 (约为 1 km)、无辐射校正^[9,10]、城市地区像素过饱和和溢出^[11,12] 等问题, 削弱了灯光数据对社

会经济预测的实践价值。

随着极地卫星技术的发展, 美国国家极轨卫星 (Suomi NPP) 搭载的可见光红外成像辐射仪 (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, VIIRS), 可提供更高分辨率 (约 500 m), 光谱响应段为 505~890 nm (对低亮度的人类活动有极强的侦测能力), 有辐射校正且没有最大灯光亮度限制的 NPP-VIIRS 夜间灯光数据^[13]。学者 Shi 和 Li 等发现 NPP-VIIRS 数据对经济状况的拟合优于 DMSP/OLS 数据^[14,15]。在全球规模城市尺度上, 学者 Levin 等研究了 NPP-VIIRS 数据的空间差异与城市和社会经济因素的关系^[16]。在省级尺度上学者 Jing 等证明 NPP-VIIRS 数据与经济参数有更高的相关性^[17]。在从城市到乡村的精细尺度上, 学者 Ma 等证明在城市尺度, NPP-VIIRS 与 GDP 总量和城市人口总量的相关性分别为 0.91、0.89^[18]。在

收稿日期: 2019-07-01; 修订日期: 2019-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571118, 41625003)、中国博士后科学基金资助项目 (2019M660300) 资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41571118, 41625003), Project Funded by China Postdoctoral Science Foundation (2019M660300).]

作者简介: 陈世莉 (1990-), 女, 四川达州人, 博士, 主要研究方向为城市增长与收缩、大数据在城市中的应用研究。E-mail: shilic@pku.edu.cn

通讯作者: 李郇。E-mail: lixun23@126.com

城市内的区级、镇街和乡级尺度, NPP-VIIRS 与人口密度的相关性分别为 0.89、0.67、0.098^[19]。

以往研究, 虽已证实夜间灯光数据能对经济发展水平进行拟合和预测, 并且 NPP-VIIRS 数据与社会经济参数的相关性优于 DMSP/OLS 数据。但发现 NPP-VIIRS 数据对社会经济活动的预测精度在不同尺度呈现不同的差异性。目前尚未有学者论证夜间灯光指数对社会经济活动探测精度在不同尺度的差异性以及造成此差异性的原因。在经济活动成因的研究中, 以往研究通常采用人口来研究经济发展在空间上的特征^[20], 或利用案例研究的方式, 从土地制度和土地招商的实践来揭示经济发达地区的镇街经济发展的土地机制^[21], 也有学者基于夜间灯光数据, 研究了 1 km 网格下的全国经济要素和人口分布^[22], 并且通过典型的景观指数计算发现景观指数与研究尺度存在显著的空间尺度关系^[23]。但城市产业结构作为城市生产过程中各产业之间的关系, 不仅可以表征城市发展阶段, 而且也直接影响了城市功能和发展水平, 是经济活动的直观反映。例如: 郑京淑指出城市产业结构是衡量城市社会经济活动的最核心指标^[24], 并且认为产业结构多样性对区域经济有着重要的作用。同时, 产业类型的均衡分布使得各产业部门间相互依存、相互联系、相互作用构成一个有机的整体, 促使经济稳定、快速发展。其也是城市经济活动的直观反映, 例如有学者认为产业类型的均衡分布影响城市经济的发展, 提出不同产业实施差异化的产业调整方案可以改善资源型产业持续发展、地区经济不断增强^[25]。所以研究尝试从产业类型的多样性与分布均衡性角度作为分析不同尺度下夜间灯光对社会经济活动的预测精度差异性的影响因素, 以此探讨城市发展中产业的重要性。此外, 珠三角地区作为中国改革开放的前沿阵地, 表现出非常明显的“专业乡和专业镇”的产业集聚现象。尤其是城市内小尺度的产业集聚现象已成为珠三角地区城市和经济增长的重要特征。在精细尺度上开展夜间灯光与城市经济相关研究, 在产业方面的相关研究具有典型示范意义。然而, 由于统计数据缺乏等因素, 给深入开展珠三角地区小尺度的城市经济相关研究带来困难。

因此, 本文的研究目标主要集中在以下 3 个方面: ① 在传统研究的城市以及镇街 2 个尺度下对 NPP-VIIRS 夜间灯光数据与经济活动进行相

关性分析。② 在更为精细的 19 个网格尺度, 分析 NPP-VIIRS 夜间灯光数据对经济活动的预测精度变化特征。③ 利用香农信息熵以及差别指数, 尝试从产业类型的多样性与分布均衡性 2 个方面, 分析 NPP-VIIRS 夜间灯光数据在不同尺度下对经济活动预测精度不同的原因。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

本文以广东省为研究范围, 广东省是中国夜间活动最为活跃的地区之一。为探测不同尺度下 NPP-VIIRS 数据对经济活动的预测精度以及原因, 本文选取城市、镇街以及 19 个网格尺度进行分析。在城市尺度, 本文选取广东省下辖的 21 个地级市作为研究对象。在镇街尺度, 本研究选取 21 个地级市包含的 1 456 个镇街作为研究对象。在网格尺度, 本文经过多次尝试, 建立 0.5~5 km(该范围的尺度以 500 m 递增)、5~50 km(该范围的尺度以 5 km 递增)的 19 个网格研究尺度。在最小的 500 m 尺度, 本文采用 NPP-VIIRS 数据像元为参考, 在广东省范围内建立了 500 m 的网格, 总计 913 284 个网格。本研究范围如图 1a 所示。

1.2 数据来源和数据处理

本文使用由美国国家海洋和大气管理局于 2012 年开始公布的 NPP-VIIRS 夜间灯光数据, 数据分辨率为 500 m^[13], 时间跨度从 2013 年 1~12 月。这些数据通过美国国家海洋和大气管理局的官网(https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html) 获得, 其数据见图 1b 所示。

本文通过对 NPP-VIIRS 夜间灯光原始数据的详细分析, 发现存在负 DN 值像元。因此, 需要对像元进行处理, 去除其背景噪音。本文研究采用的处理流程如下: ① 在 ENVI 软件中裁剪出研究范围的数据, 并且对其重新采样; ② 将负值像元重新赋值为 0; ③ 由于澳门的单位面积 GDP 排名为全国第一, 因此, 将 DN 的最大阈值设为 2013 年澳门岛内最大的 DN 值 1 048; ④ 如果 DN 值大于 1 048, 那么则将像元 DN 值重新赋值为周边 8 个像元的平均值; ⑤ 对 12 个月的数据求和得到年总值。由于 DMSP 与 NPP 搭载 2 种不同的传感器, 本研究没有采用 DMSP 数据去除 NPP-VIIRS 数据的噪音^[14,15,18]。

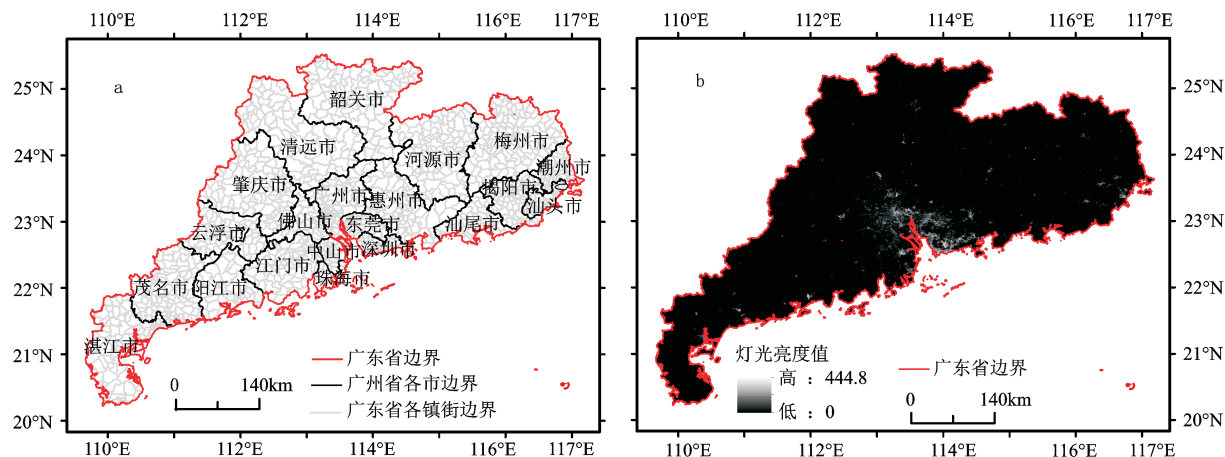


图1 研究区域(a)与2013年NPP-VIIRS夜间灯光数据(b)

Fig.1 Study area (a) and NPP-VIIRS nighttime light data (b) in 2013

本文将由国家统计局获取的《中国第三次全国经济普查统计年鉴》(<http://www.stats.gov.cn/>)中的企业数、企业从业人员数、营利收入以及资产总值作为代表经济活动的的数据,普查时期为2013年1月1日至12月31日,主要选取单位名称、单位地址、行业类型、企业从业人员、营利收入、资产总值字段信息,共833386条数据。由于数据的地址并没有经纬度信息。因此,研究首先通过Geocoding方法对其单位名称及详细地址进行地址匹配,提取经纬度信息。其次,在Matlab平台对匹配地址后的经纬度转换为WGS84坐标系。最后,采用ArcGIS10.6软件把转换坐标后的数据落点,以便后续分析。

2 研究方法

2.1 线性回归模型

在以往研究中学者采用线性回归模型^[9,17], log-log 回归模型^[26]以及多阶线性模型^[12],本研究使用log-log 回归模型对NPP-VIIRS数据与经济普查数据中4个指标进行分析。

$$G = k \times L + C \quad (1)$$

式中, G 为经济普查数据中的企业数、企业从业人员数、营利收入以及资产总值; L 为夜间灯光总值(Total Nighttime Light, TNL),即分析区域内所有校正后像元亮度值总和; k 为回归系数; C 为回归分析中像元关系中存在的常数。

2.2 香农信息熵与差别指数

研究从地区产业类型的多样性(香农信息熵)

与分布均衡性(差别指数)2个方面入手,通过计算19个网格尺度的香农信息熵值与差别指数值,分析夜间灯光在不同尺度对经济活动预测精度存在差异的原因。研究所指代的产业类型是全国经济普查数据中的行业类型,按照《2017年国民经济行业分类(GB/T 4754-2017)》(http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjbz/201709/t20170929_1539288.html)进行行业类型划分,共分为96个类型字段。

香农信息熵已广泛应用于产业类型多样性的评估研究中^[27],熵值越大,表示研究区内产业种类越多样;熵值越小,研究区内的产业种类越单一。

$$H(X) = - \sum_x P(x) \times \ln P(x) \quad (2)$$

式中, x 为每个研究区中的行业类型; $P(x)$ 为每个研究区中各种行业类型占总行业的比率; X 为研究区; $H(X)$ 为研究区 X 的熵值。

差别指数是衡量2个或多个群体在地理分布的均匀度,已广泛应用在多个群体分布的差异性研究中^[28]。差别指数越大,表示整个群体分布均衡性越低、差异性大;差别指数越小,表示整个群体分布越均衡、差异性小。因此,差别指数可以很好地应用于研究区内产业类型分布的均衡性研究,其计算公式如下:

$$D = \frac{1}{2} \sum_{j=2}^N \left| \frac{N_{i1}}{N_{.1}} - \frac{N_{ij}}{N_{.j}} \right| \quad (3)$$

式中, N_{i1} 为研究区 i 产业类型1的数目; $N_{.1}$ 为整个研究区域内产业类型1的总数目; N_{ij} 为研究区 i 产业类型 j 的数目; $N_{.j}$ 为整个研究区域内产业类型 j

的总数目; N 为研究区个数; D 为差别指数值。

3 夜间灯光数据在不同尺度对经济活动的预测精度

3.1 城市尺度夜间灯光数据对经济活动的预测精度

在城市尺度上, 通过线性回归分析, TNL 与企业数、企业从业人员数、营业收入、资产总值的 R^2 分别为 0.90、0.93、0.93 和 0.62(图 2a~d)。结果显示, 城市尺度的夜间灯光亮度与经济活跃程度(活力)的相关性很强。

在镇街尺度上, 研究对广东省的 1 456 个镇街的夜间灯光与经济普查数据进行线性回归分析。TNL 与企业数、企业从业人员数、营业收入、资产总值的 R^2 分别为 0.68、0.71、0.64、0.63(图 2e~h)。虽然镇街尺度相对城市尺度的分析结果来看, R^2

相对较低, 但相关性仍较强, 其 F 检验值都是 0.001。

在 500 m 网格尺度, 研究去除没有企业数据或企业营业收入为 0 的网格, 对每个网格的夜间灯光与经济普查数据进行了线性回归分析。TNL 与企业数、企业从业人员数、营业收入、资产总值的 R^2 分别为 0.25、0.22、0.20 和 0.20(图 2i~l)。在 500 m 网格尺度, 虽然 R^2 相对较低, 但其 F 检验值都在 0.001 水平。结果显示, 相对于城市尺度和镇街尺度, 在精细尺度上, 夜间灯光与经济活动的相关性降低, 预测结果存在不理想的状况。

3.2 19 个网格尺度夜间灯光数据对经济活动的预测精度

对比分析图 2 在 500 m 网格、镇街、城市的尺度上, 夜间灯光对企业营业收入的相关性分别为 0.20、0.64、0.93, 发现随着研究尺度的增大, 夜间

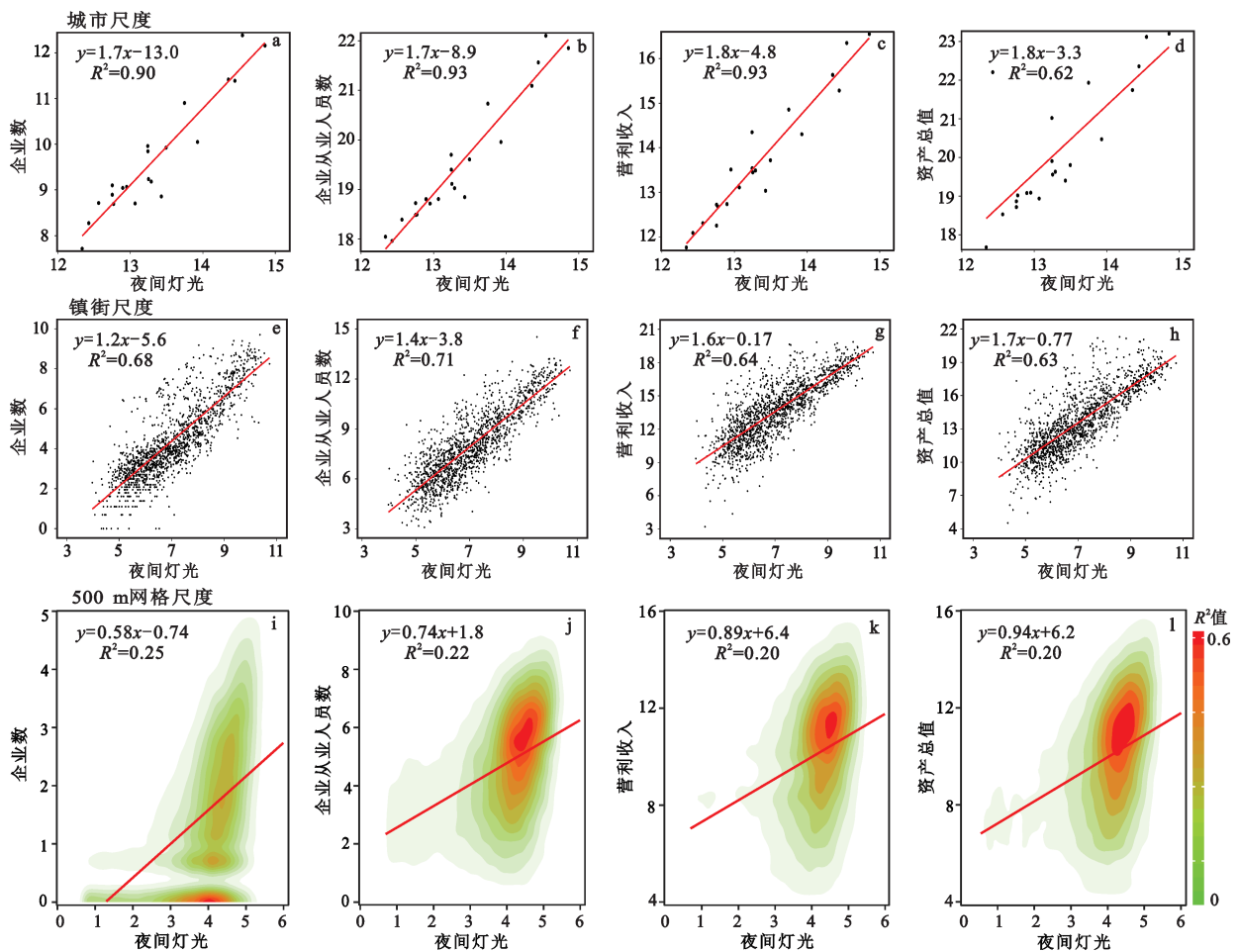


图2 夜间灯光数据与企业数、企业从业人员数、营业收入、资产总值的相关性

Fig.2 The correlation between VIIRS's TNL and the number of enterprises, the number of employees, the total revenues, and the total fixed assets

灯光与企业营业收入的相关性增强,相同的现象也存在于夜间灯光与企业数、企业从业人员数以及资产总值的相关性。为探究分析尺度带来的影响,研究建立从 0.5~5 km(该范围的尺度以 500 m 递增)、5~50 km(该范围的尺度以 5 km 递增)的 19 个网格研究尺度(图 3)。图 3 中的横坐标为 19 个网格尺度,纵坐标为 R^2 、香农信息熵、差别指数值。其中,红色曲线 R^2 是 NPP-VIIRS 数据在不同尺度下对企业营业收入的预测精度,蓝色曲线是 NPP-VIIRS 数据在不同尺度下对企业营业收入的信息熵,绿色曲线是 NPP-VIIRS 数据在不同尺度下对企业营业收入的差别指数。

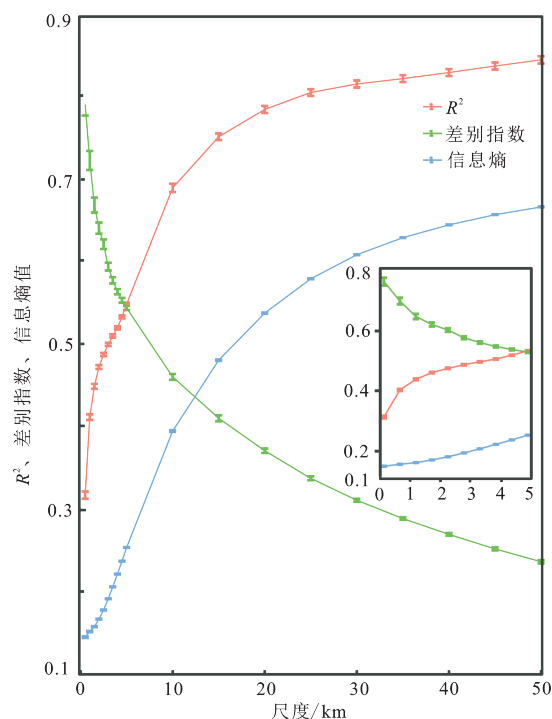


图 3 0.5~50 km 尺度的 NPP-VIIRS 数据对企业营业收入的预测精度、香农信息熵、差别指数

Fig.3 The value of R^2 , Shannon entropy and dissimilarity of structure along with increasing geographical scales

根据图 3,研究发现随着网格的尺度增大,预测精度提升。学者 Ma 在以西安市为案例的研究中也发现了相同的现象^[18]。图 3 看出,网格尺度大于 35 km,预测精度随尺度提升趋势已不显著。在对中国城市研究中,学者 Ma 也发现城市尺度的预测精度达到峰值,城市尺度以上的预测精度不再快速提升^[19]。在选取分析尺度和预测精度方面,此研究结果为后续研究者在分析灯光数据与经济

数据的研究中提供参考和依据。

4 NPP-VIIRS 数据对经济活动的预测精度与原因分析

为探究夜间灯光数据在不同尺度对经济活动预测精度差异性的原因。研究尝试从产业类型的信息熵和差别指数的空间特征入手,解释 NPP-VIIRS 数据对经济活动预测精度影响,并在空间特征上寻找产业活动的规律。在图 3 的基础上计算各指标的增量随尺度变化的结果(图 4)。图 4 横坐标为 0.5~50 km 的 19 个网格尺度值(0.5~5 km 范围,尺度以 500 m 递增;5~50 km 范围,尺度以 5 km 递增)。

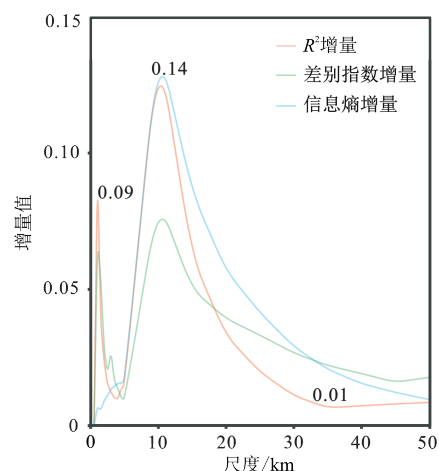


图 4 0.5~50 km 尺度的预测精度增量、信息熵增量和差别指数增量分布

Fig.4 The increment of R^2 , Shannon entropy and dissimilarity

由图 3 和图 4 中的信息熵和其增量可知,0.5~10 km 尺度,熵值提升显著,产业类型多样性提升显著。10~35 km 尺度,熵值提升放缓,产业类型多样性增加趋缓。35 km 尺度以上熵值趋于稳定,产业类型多样性趋于稳定。由图 3、4 中的差别指数和其增量可知,0.5~10 km 尺度,产业类型分布均衡性显著提升,差异性显著降低。10~35 km 尺度,产业类型分布均衡性提升放缓,差异性降低放缓。在 35 km 尺度以上,产业类型分布均衡性和差异性趋于稳定。由此表明,NPP-VIIRS 数据对经济活动的预测与研究区内产业类型的多样性与分布均衡性存在显著的相关。研究尺度越小,研究区内的产业类型呈现越单一、不均衡分布的特

点, NPP-VIIRS 数据对经济活动的预测精度越差, 反之亦反。

由于城市经济的空间集聚需要一定的规模门槛, 以上结果表明, 广东省各产业集聚区域存在尺度特征, 产业集聚区域具有专业倾向。根据以上相关空间特征, 存在 1、10 和 35 km 尺度是非常显著的尺度边界。3 种尺度特征的原因如下: ① 在现有城市规划规范中, 通常新片区的主干道间距约为 800~1 200 m, 因此, 在该尺度上围合的地块是产业在空间上最小的集聚单元。② 根据图 3、4, 10 km 尺度是相对中等规模的镇街尺度, 在广东省的镇街尺度, 产业类型的多样性与分布均衡性才比较显著, 也反映在 NPP-VIIRS 数据对经济活动预测精度提升到 0.69。由于广东省专业镇的发展历史所影响, 各个镇街以大于 10 km 尺度的空间单元进行招商引资及产业配套。随着空间尺度从 10~25 km 提升, 镇街产业类型的多样性与分布均衡性均有持续的上升, 因此, NPP-VIIRS 数据对经济活动预测精度持续提升。③ 在 35 km 以上尺度, 空间集聚开始逐步上升到城市中心、副中心等规模的集聚等级, 该空间尺度上已经是产业类型的多样性与分布均衡性的最高阶段, 经济在空间上集聚的复杂度已经提升到最高等级。因此, NPP-VIIRS 数据对经济活动预测也达到最高精度(稳在 0.82 以上)。在现有工业化与产业升级的共同背景下, 各产业类型在空间上最大集聚的规模呈现出 35 km 尺度的特征。经过对珠三角各城市中心、副中心或经济集聚区域的规模进行测量, 发现各经济集聚区域的最短直径接近 35 km, 最长横截面直径接近 45~50 km。

5 结论

研究以中国南部发达省份广东省为例, 通过采用第三次全国经济普查数据与 2013 年的 NPP-VIIRS 夜间灯光数据, 利用线性回归模型对城市、镇街、19 个网格尺度分析夜间灯光数据对经济活动的预测精度。在此基础上, 应用香农信息熵和差别指数, 从产业类型的多样性与分布均衡性两个方面, 分析夜间灯光数据在不同尺度对经济活动预测精度不同的原因。在城市、镇街以及 0.5 km 网格尺度研究采用夜间灯光对企业数、企业从业人员数、营业收入以及资产总值进行的相关性分

析。结果显示, 夜间灯光与企业营利收入在城市、镇街以及 0.5 km 网格 3 个尺度的相关性分别为 0.93、0.64、0.20。

在 NPP-VIIRS 夜间灯光与经济活动的预测精度方面, 通过对 19 个不同网格尺度下的分析结果显示, NPP-VIIRS 夜间灯光对经济活动的预测精度随着尺度的增加而不断提升。预测精度在空间尺度上存在 1、10 和 35 km 这 3 个非常显著的尺度边界: ① 0.5~1 km 尺度的预测精度首次跳跃性地提升(0.20~0.41)。② 1~10 km 尺度的预测精度迅速提升(0.41~0.69)。③ 10~35 km 尺度的预测精度缓慢提升(0.69~0.82)。④ 在 35 km 以上尺度的预测精度基本稳定(大于 0.82)。

NPP-VIIRS 夜间灯光对经济活动的预测精度与产业类型的多样性与分布均衡性存在显著相关性。研究尺度越大, 研究区内的产业类型越多样、分布越均衡, 夜间灯光对经济活动的预测精度越高。研究尺度越小, 研究区内产业类型多样性低, 越不均衡分布, 夜间灯光对经济活动预测精度越低。应用香农信息熵和差别指数对不同尺度下各网格内产业类型的多样性与分布均衡性分析, 结果显示: ① 0.5~10 km 尺度, 产业类型的多样性和均衡性显著提升。② 10~35 km 尺度, 产业类型多样性增加趋缓, 分布均衡性提升放缓, 差异性降低放缓。③ 35 km 尺度以上, 产业类型多样性、分布均衡性和差异性均趋于稳定。

从经济活动空间特征的实证和实用角度看, 以 35~45 km 的网格尺度相当于综合经济集聚区的最小门槛, 是综合经济集聚区域的最小存在规模。在国家未来的大湾区发展规划中, 需要着重分析各个城市综合经济集聚区之间的协作关系, 并将综合经济集聚区作为重要的区域网络发展的节点, 来协调规划形成基础设施网络, 避免重复建设, 形成强有力的产业协作网络和城市群。

参考文献(References):

- [1] Mehrotra A, Pääkkönen J. Comparing China's GDP statistics with coincident indicators[J]. *Journal of Comparative Economics*, 2011, 39(3): 406-411.
- [2] Michieka N M, Fletcher J J. An investigation of the role of China's urban population on coal consumption[J]. *Energy Policy*, 2012, 48: 668-676.
- [3] Rawski T G. What is happening to China's GDP statistics?[J]. *China Economic Review*, 2001, 12(4): 347-354.

- [4] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A et al. Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(6): 1373-1379.
- [5] Ghosh T, Elvidge C, Sutton P C et al. Shedding light on the global distribution of economic activity[J]. *The Open Geography Journal*, 2010, 3(1): 147-160.
- [6] 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.
- [7] Ghosh T, Anderson S, Powell R L et al. Estimation of Mexico's informal economy and remittances using nighttime imagery[J]. *Remote Sensing*, 2009, 1(3): 418-444.
- [8] 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.
- [9] Letu H, Hara M, Yagi H et al. Estimating energy consumption from night-time DMPS/OLS imagery after correcting for saturation effects[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(16): 4443-4458.
- [10] Zhao N, Ghosh T, Samson E L. Mapping spatio-temporal changes of Chinese electric power consumption using night-time imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, 33(20): 6304-6320.
- [11] Letu H, Hara M, Tana G et al. A saturated light correction method for DMSP/OLS nighttime satellite imagery[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2012, 50(2): 389-396.
- [12] Townsend A C, Bruce D A. The use of night-time lights satellite imagery as a measure of Australia's regional electricity consumption and population distribution[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(16): 4459-4480.
- [13] Liao L B, Weiss S, Mills S et al. Suomi NPP V II RS day-night band on - orbit performance[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, 118(22): 12, 705-712, 718.
- [14] Shi K, Yu B, Huang Y et al. Evaluating the ability of NPP-V II RS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: A comparison with DMSP-OLS data[J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(2): 1705-1724.
- [15] Li X, Xu H, Chen X et al. Potential of NPP-V II RS nighttime light imagery for modeling the regional economy of China[J]. *Remote Sensing*, 2013, 5(6): 3057-3081.
- [16] Levin N, Zhang Q. A global analysis of factors controlling V II RS nighttime light levels from densely populated areas[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 190: 366-382.
- [17] Jing X, Shao X, Cao C et al. Comparison between the Suomi-NPP day-night band and DMSP-OLS for correlating socio-economic variables at the provincial level in China[J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(1): 17.
- [18] Ma T, Zhou C, Pei T et al. Responses of Suomi-NPP V II RS-derived nighttime lights to socioeconomic activity in China's cities[J]. *Remote Sensing Letters*, 2014, 5(2): 165-174.
- [19] Ma T, Zhou Y, Wang Y et al. Diverse relationships between Suomi-NPP V II RS night-time light and multi-scale socioeconomic activity[J]. *Remote Sensing Letters*, 2014, 5(7): 652-61.
- [20] 汪静. 安徽省人口年龄结构特征及其社会经济影响研究[J]. *地理科学*, 2017, 37(11): 1728-1735. [Wang Jing. Characteristics of the age structure of Anhui Population and its socio-economic impacts. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(11): 1728-1735.]
- [21] 黄颖敏, 薛德升, 黄耿志. 改革开放以来珠江三角洲基层非正规土地利用实践与制度创新——以东莞市长安镇为例[J]. *地理科学*, 2017, 37(12): 1831-1840. [Huang Yingmin, Xue Desheng, Huang Gengzhi. The local informal land practice and institutional innovation in the Pearl River Delta since 1978: A case study of Chang'an town in Dongguan City. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(12): 1831-1840.]
- [22] 冯喆, 蒋洪强, 卢亚灵. 基于大数据方法和SOFM聚类的中国经济-环境综合分区研究[J]. *地理科学*, 2019, 39(2): 242-251. [Feng Zhe, Jiang Hongqiang, Lu Yaling. China's economic-environment comprehensive zoning based on Big Data method and SOFM clustering. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(2): 242-251.]
- [23] 陈永林, 谢炳庚, 李晓青. 长沙市土地利用格局变化的空间粒度效应[J]. *地理科学*, 2016, 36(4): 564-570. [Chen Yonglin, Xie Binggeng, Li Xiaoqing. Spatial grain size effect on land use pattern changes in Changsha City. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(4): 564-570.]
- [24] 郑京淑, 吴秦. 产业结构多样化对区域经济发展的影响——研究综述与政策启示[J]. *广东外语外贸大学学报*, 2010, 21(3): 67-71. [Zheng Jingshu, Wu Qin. A review of the research on industrial diversification and regional economic development. *Journal of Guangdong University of Foreign Studies*, 2010, 21(3): 67-71.]
- [25] 杨宇, 董雯, 刘毅, 等. 东北地区资源型产业发展特征及对策建议[J]. *地理科学*, 2016, 36(9): 1359-1370. [Yang Yu, Dong Wen, Liu Yi et al. Resources based industry development and its countermeasures in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(9): 1359-1370.]
- [26] Lo C P. Modeling the population of China using DMSP operational linescan system nighttime data[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001, 67(9): 1037-47.
- [27] 张德常. 产业多样性的理论与实证研究[D]. 上海: 复旦大学, 2010. [Zhang Dechang. The theoretical and empirical analysis of industry diversity. Shanghai: Fudan University, 2010.]
- [28] Sakoda James M. A generalized index of dissimilarity[J]. *Demography*, 1981, 18(2): 245-250.

The Ability of Nighttime Imagery in Monitoring Economic Activity in Different Scales

Chen Shili¹, Chen Haohui², Li Xun^{3,4}

(1. *School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*; 2. *Data61, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, 3008, Australia*; 3. *School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China*; 4. *China Regional Coordinated Development and Rural Construction Institute, Guangzhou 510275, Guangdong, China*)

Abstract: This study uses linear regression model to explore the scale threshold of the prediction of social and economic activities by nighttime data (NPP-VIIRS) from multiple scales such as city, town, and grid in Guangzhou. The third national economic census data is the number of enterprises, employees, total revenues and assets of the enterprise. Furthermore, the research establishes 19 scales, applies Shannon's information entropy and the index of dissimilarity to analyzes the different precisions of nighttime data in different scales to economic activities from the aspects of diversity, and the balance of industrial structure in the study area. The results show that the R^2 of nighttime data and total revenues is 0.20 in 0.5 km scale. As the scale increases, the forecasting ability is more grounded. The predicted value in the town street scale is 0.63. It began to stabilize and R^2 was 0.8 above 35 km scale. In addition, the industrial structure in the study area is characterized by unity and uneven development at a scale of 0.5 km. With the increase of the scale, the industrial structure in the study area has gradually become more diverse and balanced. The outcomes demonstrate that nighttime data can predict economic activities at various scales, and there still exist thresholds for the scale of prediction accuracy. This has guiding significance for understanding the regional industrial structure and optimizing the industrial structure of each region.

Key words: nighttime imagery; economic census data; linear regression model; shannon entropy; index of dissimilarity