

# 苏州市肺结核时空分布特征的变化(2013—2021年)

丁邱 李云 张晓龙 蒋骏

苏州市疾病预防控制中心结核病防制所, 苏州 215026

通信作者: 丁邱, Email: dingqiulikang@163.com

**【摘要】** 目的 了解苏州市肺结核的流行特点和各县区的时空变化特征, 为制定防控策略提供数据支持。方法 通过“中国疾病预防控制信息系统”收集 2013—2021 年苏州市登记患者数据。采用趋势性 $\chi^2$  检验分析 2013—2021 年肺结核发病率的变化趋势。采用描述性研究分析肺结核的流行特征; 采用空间自相关分析和空间聚集模型对肺结核的登记数据作空间变化分析, 确定防控的冷热点地区。结果 2013—2021 年, 苏州市共登记 30 649 例肺结核患者, 年均登记发病率为 27.23/10 万; 各年度的登记发病率在 (23.78~31.30)/10 万之间, 发病率总体呈下降趋势 ( $\chi^2_{趋势}=190.118, P<0.001$ )。苏州市肺结核发病 1~4 季度的季节指数分别为 87.87%、112.50%、113.81% 和 89.62%。据发病率可视化地图, 常熟市(31.78/10 万)、太仓市(31.93/10 万) 为高发病率县市(区), 中心城区的姑苏区(14.82/10 万)、苏州工业园区(20.16/10 万) 等区域是低发区。空间自相关模型分析显示, 2016、2019 和 2021 年苏州市肺结核发病总体上呈空间聚集效应(全局 Moran's  $I$  值为 0.422~0.493,  $P$  均 $<0.05$ )。热点分析表明, 苏州工业园区、相城区、姑苏区长期作为发病冷点区或次冷点区, 常熟市和太仓市为发病热点区。结论 2013—2021 年, 苏州市肺结核的发病率显著下降, 防控效果良好。苏州市的常熟市、太仓市、昆山市、张家港市等的县市呈现发病聚集特征, 以上县市也是发病热点区。今后应引导医疗卫生资源向发病的热点区域合理倾斜。

**【关键词】** 结核, 肺; 空间聚集性; 空间自相关; 热点分析; 季节指数

**基金项目:** 苏州市重大疾病、传染病预防与控制关键技术研究项目(GWZX202001)

DOI: 10.3760/cma.j.cn331340-20230525-00086

## Changes of spatio-temporal distribution of pulmonary tuberculosis in Suzhou City (2013-2021)

Ding Qiu, Li Yun, Zhang Xiaolong, Jiang Jun

Department of Tuberculosis Control, Suzhou Center for Disease Prevention and Control, Suzhou 215026, China

Corresponding author: Ding Qiu, Email: dingqiulikang@163.com

**【Abstract】 Objective** To understand the epidemiological characteristics and spatio-temporal variations of tuberculosis in Suzhou City, so as to provide theoretical basis for improving the prevention and control strategy of tuberculosis. **Methods** Data of registered tuberculosis cases in Suzhou City from 2013 to 2021 were collected through a sub-system of the Chinese Disease Prevention and Control Information System. The trend of tuberculosis incidence from 2013 to 2021 was analyzed by  $\chi^2$  trend analysis. Descriptive analysis was used to investigate the epidemic characteristics of tuberculosis. Spatial autocorrelation analysis and spatial aggregation model were applied to analyze the spatial changes of tuberculosis, and identify the hot and cold regions for prevention. **Results** A total of 30 649 patients with tuberculosis were registered in Suzhou from 2013 to 2021, with an average annual incidence of 27.23 per 100 000. The annual incidence rates ranged from 23.78 per 100 000 to 31.30 per 100 000, with a downward trend ( $\chi^2_{trend}=190.118, P<0.001$ ). The seasonal indexes of tuberculosis incidence from the first to fourth quarter were 87.87%, 112.50%, 113.81% and 89.62%, respectively. According to the ArcGIS incidence map, Changshu City (31.78 per 100 000) and Taicang City(31.93 per 100 000) were high incidence areas, while Gusu District(14.82 per 100 000) and Suzhou Industrial Park (20.16 per 100 000) in the central city were low incidence areas. Spatial autocorrelation model analysis showed a spatial aggregation effect of tuberculosis incidence in Suzhou City in 2016, 2019 and 2021 (global Moran's  $I$  values were 0.422-0.493, all  $P<0.05$ ). Hotspot analysis showed that Suzhou Industrial Park, Xiangcheng District and Gusu District were long-term cold area or sub-cold spot areas, while Changshu City and Taicang City were hotspot areas. **Conclusions** From 2013 to 2021, the incidence of tuberculosis decreased significantly in Suzhou City, indicating that the prevention and control measures are effective. Changshu City, Taicang City, Kunshan City and

Zhangjiagang City show clustering traits of tuberculosis, and are identified as hot spots. Medical and health resources should be guided to these high-incidence areas.

**[Key words]** Tuberculosis, pulmonary; Spatial aggregation; Spatial autocorrelation analysis; Hotspot analysis; Seasonal index

**Fund program:** Key Technology Project for Prevention and Control of Major Diseases and Infectious Diseases in Suzhou (GWZX202001)

DOI: 10.3760/cma.j.cn331340-20230525-00086

肺结核是由结核分枝杆菌 (*Mycobacterium tuberculosis*, MTB) 感染引起的慢性传染性疾病。WHO 报告, 2021 年全球估计约有 1 060 万人患肺结核, 死亡人数约为 160 万<sup>[1]</sup>, 在单一感染来源致死的疾病中排名第 2, 仅次于 COVID-19。据统计, 2021 年我国新发肺结核患者 58.5 万, 肺结核疾病负担居全球第 2 位<sup>[2]</sup>。已有研究将地理信息系统用于近视<sup>[3]</sup>、传染病特别是 COVID-19 的空间流行特征<sup>[4]</sup>可视化分析, 但少见用于结核病的分析。本研究采用 ArcGIS 10.2 软件建立 2013—2021 年苏州市肺结核发病数据与基础地理信息的关联, 构建肺结核发病数据库, 以阐明流行的强度和影响, 有利于规划、卫生资源配置和社区管控。

## 资料与方法

### 一、资料来源

从“中国疾病预防控制中心信息系统”分系统“肺结核信息管理系统”中, 提取 2013—2021 年苏州市的肺结核患者登记病案。同期的人口学资料来源于苏州市统计局的统计年鉴。通过国家基础地理信息中心 (<http://www.ngcc.cn/ngcc/>) 获取苏州市行政区划矢量地图及经纬度坐标, 构建比例尺为 1:949 503 的苏州市县市(区)级电子地图。苏州市划分为姑苏区、吴中区、相城区、高新区、苏州工业园区、吴江区、张家港市、常熟市、太仓市和昆山市 10 个县市(区)。

### 二、研究方法

#### 1. 描述性分析

根据《肺结核诊断标准(WS 288-2017)》, 肺结核指发生在肺组织、气管、支气管和胸膜的结核病变。病原学阳性肺结核包括了痰涂片阳性、培养阳性或

分子生物学阳性的肺结核。收集整理苏州市肺结核的发病例数、性别、年龄、登记地区、发病率等特征资料。人群、时间、地区分布特征采用病例数、率或构成比描述。对流行特征作描述性分析, 并用季节指数分析苏州市肺结核发病的季节变异 [季节指数 (%) = (历年同季平均数/趋势值) × 100%]。

#### 2. 空间自相关分析

全局空间自相关主要反映属性值在整个区域的空间分布。通过计算 Global Moran's  $I$  值<sup>[5]</sup>(取值范围为  $-1 \sim 1$ ), 并对全局 Moran's  $I$  值进行  $Z$  检验, 判断属性值的空间分布属于分散分布、随机分布、聚集分布中的何种类型。 $P > 0.05$  时, 属性值在空间上呈随机分布;  $P < 0.05$  时, 属性值在空间上呈非随机分布。 $P < 0.05$  且全局 Moran's  $I$  值  $> 0$ , 表示属性值呈空间正相关, 全局 Moran's  $I$  值越大, 属性值在空间分布上呈现出的集聚效应越明显;  $P < 0.05$  且全局 Moran's  $I$  值  $< 0$ , 表示属性值呈空间负相关, 全局 Moran's  $I$  值越小, 属性值在空间分布上呈现出的离散效应越明显<sup>[6]</sup>。

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}}$$

其中  $n$  表示所要研究的对象中空间的区域数,  $X_j$  为第  $j$  个区域的属性值,  $\bar{X}$  表示所有区域属性值的平均值,  $W_{ij}$  表示空间权重矩阵  $W$  中的第  $(i, j)$  个元素。

局部自相关分析可以确切指出整体中各区域与其相邻区域间是否存在聚集现象。局部 Moran's  $I$  值 (local indicators spatial autocorrelation, LISA) 是分析局部空间自相关的常用指标。表示为:

$$I = \frac{n(X_i - \bar{X}) \sum_{j=1}^n W_{ij}(X_j - \bar{X})}{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2} \quad (2)$$

空间聚集模式可分为 4 种类型：“高-高”聚集区、“低-低”聚集区、“高-低”聚集区、“低-高”聚集区<sup>[7]</sup>。“高-高”聚集表示结核病高登记发病率地区被同样高发率的地区包围，“低-低”聚集表示结核病低登记发病率地区被同样低登记发病率的地区包围。可绘制空间关联局部指标聚集性 LISA 地图。利用热点分析(Getis-Ord Gi\*)<sup>[5]</sup>衡量区域内局部区域与相邻空间单元的相关性。Gi\*(d)值显著为正,表明地区周围的价值相对较高,属于热点地区,反之则为冷点地区。

### 三、统计学方法

用 Excel.2019 软件整理数据,运用 SPSS.25.0 软件分析数据,时间趋势采用趋势性 $\chi^2$ 检验和季节指数分析。将 Excel 中 2013—2021 年的县市(区)级结核登记发病数据与县市(区)级地图数据库进行连接,绘制空间矢量分布地图。应用 ArcGIS 10.2 软件进行空间聚集和冷热点分析实现,用 GeoDa 1.16 进行局部空间自相关分析,并使用 ArcGIS 软件绘制空间关联的热点分析图(Getis-Ord Gi\* 值)。以  $P < 0.05$  为有统计学意义。

## 结 果

### 一、苏州市肺结核流行概况

2013—2021 年,苏州市累计登记肺结核患者 30 649 例,年均登记发病人数为 3 407 例,年均登记发病率为 27.23/10 万。苏州市肺结核年登记发病率为 23.78/10 万~31.30/10 万;登记发病率呈逐年显著性下降趋势( $\chi^2_{趋势} = 190.118, P = 0.001$ )。与 2013 年相比,2021 年肺结核登记发病率下降到 23.78/10 万,年均下降率为 2.67%,降幅为 24.03%。2013—2021 年苏州市的病原学阳性肺结核登记发病率最高是 2018 年(15.07/10 万),最低是 2016 年(11.47/10 万)。

具体结果见表 1。

### 二、苏州市登记肺结核患者的人群分布

苏州市登记肺结核患者男女比为 2.45:1 (21 777/8 872 例)。患者年龄分布在 1~100 岁,平均年龄(42.96±19.50)岁,具体分布为:1~14 岁组 82 例 (0.27%),15~24 岁组 5 589 例 (18.24%),25~34 岁组 8 638 例 (28.18%),35~44 岁组 3 639 例 (11.87%),45~54 岁组 3 582 例 (11.69%),55~64 岁组 3 285 例 (10.72%),65~74 岁组 3 253 例 (10.61%),≥75 岁年龄组患者 2 581 例 (8.42%)。患者职业以农民及牧民(35.82%,10 979/30 649)、家务及待业(28.93%,8 867/30 649)、工人(19.24%,5 898/30 649)为多。

### 三、苏州市登记肺结核患者的季节分布

2013—2021 年,苏州市肺结核患者的登记季节发病率为 5.26/10 万~8.82/10 万。登记季节发病率从第 1 季度的低谷,上升到第 2 和第 3 季度的波峰,最后降到第 4 季度的低谷,见图 1。经计算,第 1~4 季度的季节指数分别为 87.87%、112.50%、113.81%和 89.62%。

### 四、苏州市肺结核发病率的地区分布

2013—2021 年苏州市历年肺结核的流行趋势以散发为主,各县市(区)都出现了不同程度的疫情。常熟市(31.78/10 万)、太仓市(31.93/10 万)、相城区(30.68/10 万)的年均发病率较高,而姑苏区(14.82/10 万)和苏州工业园区(20.16/10 万)的年均发病率较低,其他县市(区)介于中间。

### 五、苏州市肺结核发病的空间关联特征

#### 1. 全局空间自相关结果

结果显示,2013—2021 年间各年发病率的 Moran's I 值均 >0。结合数据判断,2016、2019 和 2021 年苏州市肺结核发病率总体上呈空间正相关性(全局 Moran's I 值为 0.422~0.493,  $P$  均 < 0.05)。其他年份不存在空间聚集性特征,  $Z$  值均 < 1.96,  $P$  均 >

表 1 2013—2021 年苏州市肺结核登记发病率概况

疾病类型	不同年份的发病率(1/10 万)									变化率 (%)	$\chi^2_{趋势}$ 值	P 值
	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年			
肺结核	31.30	29.90	27.42	26.50	27.46	28.59	26.72	23.84	23.78	24.03	190.118	<0.001
病原学阳性肺结核	14.69	13.36	11.91	11.47	12.38	15.07	14.83	13.51	13.95	5.04	17.000	<0.001

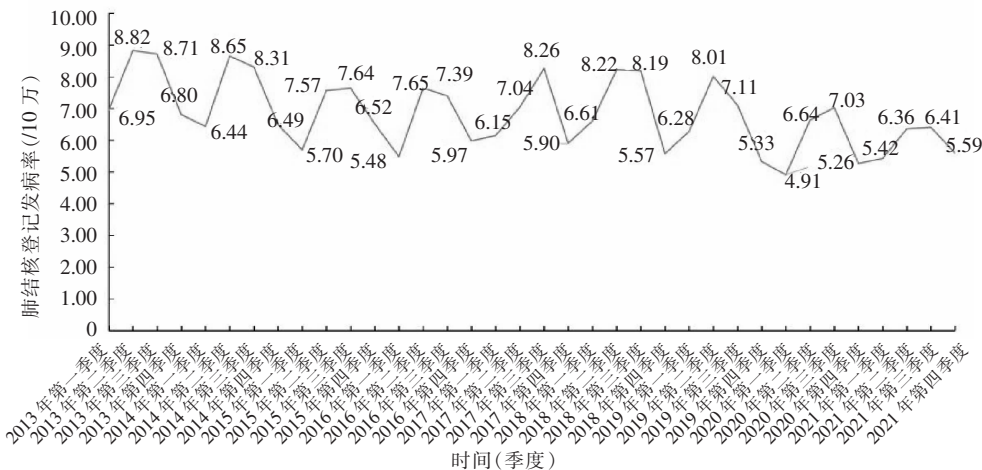


图 1 2013—2021 年苏州登记肺结核患者发病的季节分布

0.05,属于随机空间分布。见表 2。

表 2 2013—2021 年苏州市肺结核发病率全局自相关分析结果

年份	Moran's I 值	Z 值	P 值
2013	0.191	1.380	0.167
2014	0.162	1.266	0.205
2015	0.266	1.686	0.092
2016	0.429	2.341	0.019
2017	0.207	1.454	0.146
2018	0.156	1.184	0.236
2019	0.422	2.306	0.021
2020	0.337	1.891	0.059
2021	0.493	2.555	0.011

### 2. 局部空间自相关结果

通过计算 2013—2021 年苏州市肺结核发病分布的 Gi\* 指数,绘制热点分析图。2013—2015 年,肺结核发病的热点区主要分布在苏州东部和北部,其中集聚区(热点区)为昆山市和常熟市,次热点区为太仓市和张家港市。相比于 2015 年,昆山市 2016 年降为次热点区;到 2017 年,集聚区(热点区)扩大到常熟、太仓和昆山三地,苏州南部的吴江区转变为次热点区。相比于 2017 年,2018 年的集聚区(热点区)减少到 2 个(常熟市和太仓市),次热点区有昆山市和张家港市,吴江区降低为过渡区。2019 年,热点区再次扩大,集聚区(热点区)增加到 4 个(分别是常熟市、太仓市、昆山市和吴江区)。2020 年发生逆转,太仓市和张家港市下降为过渡区,集聚区(热点区)减少到仅有高新区和吴江区 2 个。从全市范围看,热点区呈现先减少后增加,再减少再增加最后

减少的波浪式分布态势。另一方面,2013—2021 年,苏州工业园区、相城区和吴中区一直处于冷点区或次冷点区,姑苏区一直处于冷点区或过渡区,比较稳定。

### 讨 论

#### 一、苏州市肺结核发病率总体呈显著下降趋势

苏州市是长三角地区的特大城市。2020 年苏州市非户籍人口数超 530 万,占全市常住人口比 41.6%<sup>[8,9]</sup>,外来人口众多,流动人口(含在校大学生)中的肺结核流行不容乐观。2013—2021 年,苏州市年平均登记发病率 27.23/10 万,低于全国发病率水平(2021 年为 45.37/10 万)<sup>[10]</sup>,发病率总体呈显著下降趋势。本研究显示 2013—2021 年苏州市肺结核登记发病率年均下降 2.67%,低于全国的年均下降速度(3.60%)<sup>[11]</sup>。发病率呈下降趋势的可能原因是:(1)生产力水平的提高导致市民的营养水平普遍提高,而营养水平与肺结核的发病密切相关<sup>[12]</sup>;(2)结核病健康促进工作不断推进,防治知识知晓率逐步提高;(3)全市卫生健康系统对结核病防制的资源投入多,2012 年起将耐多药肺结核纳入重大疾病保障范围<sup>[13]</sup>,实行单病种定额收付费,保障了患者规范治疗的权益。

#### 二、青壮年是苏州肺结核发病率的人群,发病呈季节性

本研究发现苏州市这九年间的登记病例中,计算男性和女性发病率最高的年龄组均为 25~34



岁组。2005—2014 年北京市的研究得出了相似的结果:15~29 岁组是肺结核的高发年龄段<sup>[14]</sup>。据《中国流动人口发展报告 2016》显示,中国流动人口的平均年龄为 29.3 岁,而苏州发病率最高人群也在该年龄段,推测可能是流动人口中的新发病例因工作压力大或经济困难导致就医延迟<sup>[15]</sup>,引发了肺结核在青壮年人群中传播。本研究发现苏州市肺结核季度登记发病率呈现第 1 和第 4 季度波谷,而第 2 和第 3 季度波峰的流行趋势,表明肺结核发病有明显的季节性。春季高峰很可能由于人群维生素 D 的缺乏和大气污染诱发了体内结核菌的复燃<sup>[16]</sup>。

### 三、苏州市肺结核发病呈现显著的空间聚集效应

空间自相关研究结果表明,2016 年、2019 年和 2021 年苏州市肺结核发病呈现显著的空间聚集效应。结合热点分析图发现:围绕“高-高”聚集区即常熟市,2013—2017 年这 5 年间的热点区、次热点区主要涵盖了苏州市东部、北部的 4 个县级市(分别是常熟、张家港、太仓和昆山)。分析原因可能是因为这些地区的流动人口多,居住条件或个人卫生习惯相对较差,容易被感染,提示热点区的结核病防治工作者需对患者及时管控,做好精细防治。2020 年和 2021 年,太仓和张家港已由次热点区转变为过渡区,表明防控有显著成效。2013—2021 年期间,苏州工业园区、相城区、吴中区一直处于冷点区或次冷点区,姑苏区一直处于冷点区或过渡区。作为中心城区,以上 4 区持续作为冷点区的原因,可能是中心城区的综合性医院较多,医疗事业发展水平很高,另外居民的卫生习惯较好,早发现早就诊意识较强,及时发现结核传染源。

总体上,2013—2021 年苏州市结核病防治工作取得一定成效,整体呈现逐年下降趋势。利用空间自相关分析发病空间聚集的动态变化,有利于精确引导医药资源的合理配置。同时应对 15~34 岁组青年、少年进行重点防控。此外,本研究的局限性在于:研究基于历史数据,结果对结核病监测预警工作的指导意义受到时效性的影响。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 丁邱:数据分析、论文撰写;李云:提供数据库来源并解释;张晓龙、蒋骏:修改论文并指导

### 参 考 文 献

- [1] World Health Organization. Global tuberculosis report 2022 [R]. 2022.
- [2] 高静韬,刘宇红. 世界卫生组织 2022 年全球结核病报告要点解读[J]. 国际流行病学传染病学杂志, 2023, 50(2): 86-91. DOI: 10.3760/cma.j.cn331340-20230213-00018.
- [3] Shi X, Gao Z, Leng L, et al. Temporal and spatial characterization of myopia in China[J]. *Front Public Health*, 2022,10:896926. DOI: 10.3389/fpubh.2022.896926.
- [4] Omidkhoda N, Mahdiani S, Hayes AW, et al. Natural compounds against nonalcoholic fatty liver disease: A review on the involvement of the LKB1/AMPK signaling pathway[J]. *Phyther Res*, 2023. DOI: 10.1002/ptr.8020.
- [5] Anselin L, Li X. Operational local join count statistics for cluster detection[J]. *J Geogr Syst*, 2019,21(2):189-210. DOI: 10.1007/s10109-019-00299-x.
- [6] 杨静,段晓雨,黄甜,等. 云南省 2014-2018 年手足口病疫情时空流行特征[J]. *中华疾病控制杂志*, 2020, 24(3): 290-296, 340. DOI: 10.16462/j.cnki.zhjbkz.2020.03.009.
- [7] Parra-Amaya ME, Puerta-Yepes ME, Lizarralde-Bejarano DP, et al. Early detection for dengue using local indicator of spatial association (LISA) analysis[J]. *Diseases*, 2016,4(2):16. DOI: 10.3390/diseases4020016.
- [8] 苏州市统计局. 2020 年苏州市经济和社会发概况[Z]. 2021.
- [9] 苏州市第七次全国人口普查领导小组办公室. 苏州市第七次全国人口普查公报(第一号)[R]. 2021.
- [10] 国家卫生健康委员会. 中国卫生健康统计年鉴 2022[Z]. 2022.
- [11] 李旭,仇蕾洁,姜鑫洋,等. 中国 2012—2016 年肺结核发病趋势及空间自相关分析[J]. *中国公共卫生*, 2020, 36(11): 1624-1627. DOI: 10.11847/zgggws1121991.
- [12] 中华医学会结核病学分会重症专业委员会. 结核病营养治疗专家共识[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2020, 43(1): 17-26. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2020.01.006.
- [13] 丁晓艳,刘巧,孔雯,等. 2009—2013 年江苏省耐多药患者治疗转归及影响因素分析[J]. *结核病与肺部健康杂志*, 2016, 5(4): 271-276. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3755.2016.04.006.
- [14] 孙兴华,高志东,李亚敏,等. 2005-2014 年北京市肺结核流行特征分析[J]. *公共卫生与预防医学*, 2016, 27(4): 6-9.
- [15] 张晓龙,王斐娟,傅颖,等. 苏州市流动人口与户籍人口结核病诊断延误状况及影响因素[J]. *职业与健康*, 2019, 35(18): 2508-2511, 2515.
- [16] Yang X, Duan Q, Wang J, et al. Seasonal variation of newly notified pulmonary tuberculosis cases from 2004 to 2013 in Wuhan, China[J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e108369. DOI: 10.1371/journal.pone.0108369.

(收稿日期:2023-05-25)