

山东省2015年肺结核发病时空特征分析

李永文 程俊 王浩 赵飞 李新旭 陶武威 毕秀丽 金瑾 丁燕 耿红

250101 济南,山东省胸科医院结核病防治中心(李永文、程俊、陶武威、毕秀丽、金瑾、丁燕、耿红); 250012 济南,山东大学齐鲁医院门诊(王浩); 102206 北京,中国疾病预防控制中心结核病预防控制中心(赵飞、李新旭)

通信作者:耿红, Email: lyw370004@163.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2016.09.015

【摘要】 目的 分析山东省2015年活动性及痰涂片阳性(涂阳)肺结核发病的时空流行特征。**方法** 收集山东省2015年活动性及涂阳肺结核报告发病信息,以地理信息系统为基础,采用全局及局部空间自相关统计量(*Moran's I*)分析肺结核发病的空间聚集性,采用SaTScan分析发病的时空聚集性。**结果** 2015年山东省共报告活动性及涂阳肺结核患者31 776例和8 631例,报告发病率分别为33.09/10万和8.99/10万。在县级水平上,活动性肺结核的发病整体上呈现空间自相关性(*Moran's I*=0.219, $P<0.001$),高发病-高聚集区为鲁西北、鲁东南和鲁中南地区;涂阳肺结核发病在整体分布上也呈现聚集型分布(*Moran's I*=1.178, $P<0.001$),高发病-高聚集区为鲁东南和鲁西北地区。时空扫描结果显示:活动性肺结核在第2、3季度存在发病聚集性,聚集区为鲁中南、鲁东南及鲁西北的部分县(区);涂阳肺结核发病在2、3季度亦存在聚集性,聚集区域为鲁东南以及鲁西北的部分县(区)。**结论** 山东省2015年活动性及涂阳肺结核发病在整体上均呈现空间聚集性;鲁西北、鲁东南地区是肺结核高负担聚集区同时也是传播高风险聚集区,鲁中南地区是肺结核高负担但非高风险传播聚集区。

【关键词】 肺结核; 地理信息系统; 空间自相关性

Spatial-temporal analysis of pulmonary tuberculosis in Shandong province, 2015 Li Yongwen, Cheng Jun, Wang Hao, Zhao Fei, Li Xinxu, Tao Wuwei, Bi Xiuli, Jin Jin, Ding Yan, Geng Hong
Center for Tuberculosis Control and Prevention, Shandong Provincial Chest Hospital, Jinan 250101, China (Li YW, Cheng J, Tao WW, Bi XL, Jin J, Ding Y, Geng H); Outpatient Department, Qilu Hospital of Shandong University, Jinan 250012, China (Wang H); National Center for Tuberculosis Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China (Zhao F, Li XX)
Corresponding author: Geng Hong, Email: lyw370004@163.com

【Abstract】 **Objective** To analyze the spatial-temporal epidemiological characteristics of active pulmonary tuberculosis (PTB) and sputum smear positive (SS+) PTB in Shandong province, China, 2015. **Methods** The surveillance data of active PTB and SS+PTB in Shandong in 2015 were collected and analyzed by using the global and local indicators of spatial association (*Moran's I*) for the spatial autocorrelation of PTB, and by using SaTScan for spatial-temporal clustering characteristics of PTB based on geographic information system. **Results** Totally, 31 776 active PTB cases and 8 631 SS+PTB cases were reported in Shandong in 2015, and the reported incidence rates of active PTB and SS+PTB were 33.09/100 000 and 8.99/100 000, respectively. Active PTB had positive spatial autocorrelation at county level, and the value of *Moran's I* value was 0.219 ($P<0.001$), indicating that the high-high (HH) aggregation areas with high incidence were in the northwestern, southeastern and central southern Shandong; SS+PTB also had positive spatial autocorrelation at county level, and the value of the *Moran's I* was 1.178 ($P<0.001$), indicating that the HH aggregation areas with high incidence were in the southeastern and northwestern Shandong. The results of spatial-temporal scanning indicated that there was incidence clustering of active PTB in the second quarter and the third quarter in 2015, and the clustering areas were in the central southern, southeastern and northwestern Shandong; there also was incidence clustering of SS+PTB in the second quarter and the third quarter in 2015, and the clustering areas were in the southeastern and northwestern Shandong. **Conclusions** The incidence of active PTB and SS+PTB showed spatial and temporal clustering in Shandong in 2015. The areas with high PTB burden and high PTB transmission risks were in the northwestern and southeastern Shandong. The areas with high PTB burden but without high PTB transmission risks were

in the central southern Shandong.

【Key words】 Pulmonary tuberculosis; Geographic information system; Spatial autocorrelation

地理信息系统(GIS)已应用于结核病防治领域,但多项研究表明肺结核的发病具有明显的空间结构性和异质性^[1-2]。2010年山东省结核病流行病学调查显示,农村地区疫情远高于城市,城乡分布不均衡^[3],但未能展示疫情具体区域分布情况。为此本研究将GIS与肺结核发病属性相结合,以空间统计学分析方法揭示活动性及涂阳肺结核疫情的空间分布特征及其发病时空聚集性,为制定或完善当前结核病防控策略和控制措施提供科学依据。

资料与方法

1. 资料来源:肺结核报告发病数据源于国家疾病报告管理信息系统,人口数据源于山东省2015年统计年鉴。地理数据采用山东省县界行政区划矢量地图(1:1 000 000),空间分析的基本单元为县(市、区)。活动性肺结核包括痰涂片阳性(涂阳)肺结核、痰涂片阴性肺结核和结核性胸膜炎^[4]。报告发病率计算公式:

报告发病率(/10万)=[某一地区一定期间内报告的
活动性(涂阳)肺结核患者数/地区人口数]×10万

2. 研究方法:

(1) 全局空间自相关分析:将各县(市、区)活动性及涂阳肺结核报告发病率分别导入山东省县界电子地图,建立肺结核报告发病率GIS数据库,使用ArcMap绘制报告发病率专题地图。进行空间自相关分析时,假定肺结核在各县(市、区)人群中的发病风险相同,服从Poisson分布;以全局自相关统计量(*Moran's I*)检测肺结核发病在空间分布上是否存在整体上的聚集性^[5],根据标准化统计量 $Z(I)$ 检验其统计学意义,若 P 值无统计学意义,则认为肺结核的发病服从Poisson分布,整体分布上无聚集性。若 P 值有统计学意义,且 $Z(I)$ 值为正,则认为肺结核的发病整体呈现聚集型分布;若 $Z(I)$ 值为负,则认为发病整体呈现为离散型分布。

(2) 局部空间自相关分析:在县级水平上采用*Local Moran's I*进行局部空间自相关性分析^[6],以获得整个研究区域内肺结核发病聚集区域的具体位置与类型。分析可得到空间正相关性区域,如高-高(低-低)聚集,即肺结核报告发病率高于(或低于)均值的地区被高于(或低于)均值的邻域包围;负相关性区域,如高-低(低-高)聚集,即肺结核发病率高于(或低于)均值的区域被低于(或高于)均值的区域

所包围。

(3) 时空扫描分析:采用SaTScan 9.1软件进行时空扫描分析,以探测聚集中心和聚集区域半径,SaTScan是以空间动态窗口扫描统计为基础,通过计算不同圆心、不同半径下动态窗口区域内与区域外空间单元属性的似然比(*LLR*)进行统计学推断,并利用蒙特卡洛模拟进行统计学意义评价,探索最大可能聚集区域。对于每个可能存在的时空聚集区,当 $P < 0.05$ 时,*LLR*值越大,则认为扫描动态窗口所涵盖的区域为聚集区的概率越大,最终选择*LLR*值最大的窗口区作为一类聚集区,其他有统计学意义的窗口为二类聚集区。本研究采用回顾性空间分析方法,采用SaTScan中的Poisson分布模型对空间高值聚集区进行分析,分析时设定最大空间扫描区域为全省总人口数的50%,最大时间扫描段为总体研究时间的50%。

3. 统计学分析:采用Excel 2010软件进行数据整理和描述性分析,用Arcgis 9.3软件进行统计学分析,并进行结果的可视化,绘制地图。全局空间自相关分析采用全局*Moran's I*、局部空间自相关分析采用*Local Moran's I*,时空扫描采用SaTScan 9.1软件进行分析,检验水准均为 $\alpha = 0.05$ 。

结 果

1. 基本情况:2015年山东省共报告活动性肺结核患者31 776例,其中涂阳患者8 631例,占报告活动性肺结核患者总数的27.16%。全省活动性肺结核报告发病率为33.09/10万,涂阳肺结核报告发病率为8.99/10万;活动性肺结核报告发病率较高的地区为鲁西北、鲁中南地区,较低的地区为鲁东北和鲁东;涂阳肺结核发病率较高区域为鲁东南和鲁西北,较低的地区为鲁西和鲁北(图1)。

2. 活动性肺结核发病空间自相关分析:

(1) 全局空间自相关分析:山东省县区间2015年活动性肺结核报告发病空间分布的差异有统计学意义(*Moran's I* = 0.219, $Z = 3.403$, $P < 0.001$),提示活动性肺结核发病在整体上存在较强的空间聚集性。

(2) 局部空间自相关分析:山东省2015年活动性肺结核发病局域空间自相关主要表现为空间的高-高、低-低、高-低和低-高4种聚集形式。其中高-高发聚集区主要有3个,分别位于鲁西北即以聊城市东昌府区、莘县、阳谷县、茌平县和东阿县

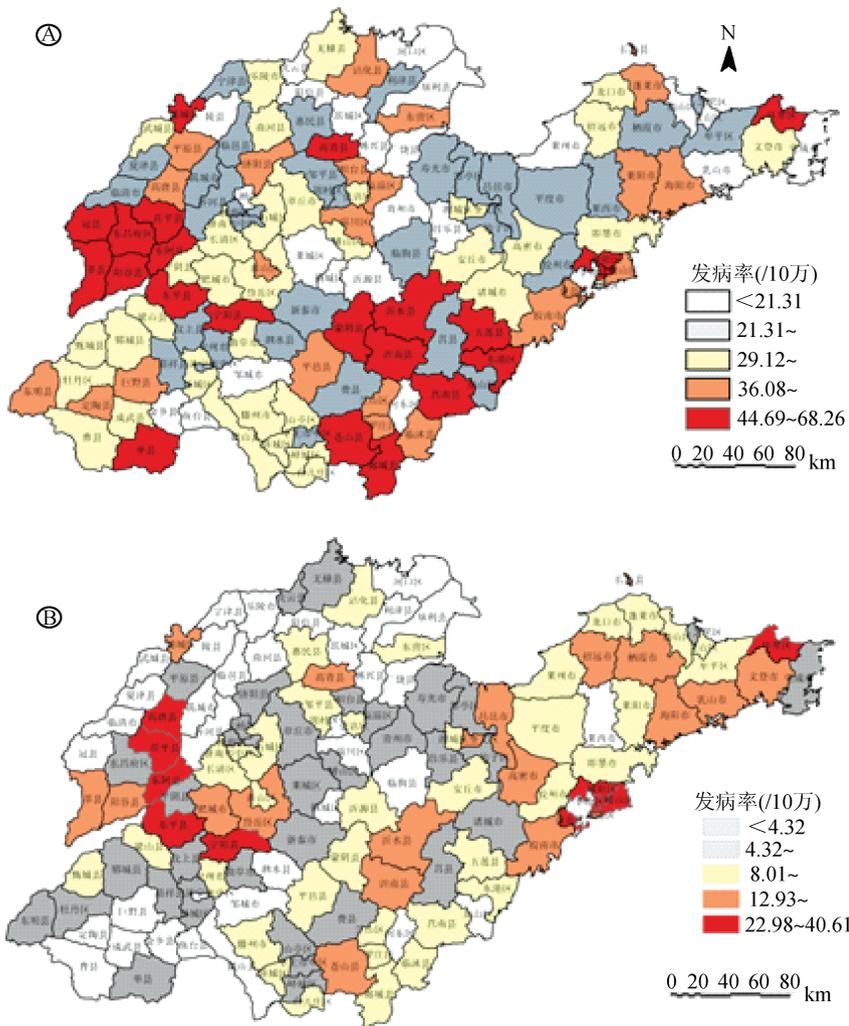


图1 2015年山东省活动性肺结核(A)和涂阳肺结核(B)报告发病率分布
 为中心的聚集区,鲁东南即以青岛市城阳区、李沧区、崂山区为中心的聚集区,鲁中南即以临沂市郯城县为中心的聚集区,其周围也被报告发病率高于均值的区域所包围,这些聚集区及其邻近区域均应是肺结核防治的重点关注地区。临沂市河东区为活动性肺结核发病的低-高聚集区,淄博市高青县为高-

低聚集区;东营市河口区、滨州市滨城区和阳信县及莱芜市钢城区是低-低聚集区,即冷点区域(图2)。

(3)时空扫描分析:对2015年1-4季度活动性肺结核报告发病率时空扫描发现,最大可能聚集区覆盖31个县(市、区),最大扫描半径为163.59 km,主要分布在鲁中南的日照、临沂市及鲁东南的青岛市部分地区,聚集时间为第2、3季度($LLR=125.10, RR=1.29, P<0.001$);二级聚集区主要集中在以东昌府区和汶上县为中心的鲁西北地区,以张店区为中心的鲁中部分地区(表1,图2)。

3. 涂阳肺结核空间自相关分析:

(1)全局空间自相关分析:2015年山东省县(区)间涂阳肺结核发病在空间分布的差异有统计学意义($Moran's I=1.178, Z=18.202, P<0.001$),提示涂阳肺结核的发病在整体水平上存在空间聚集性。

(2)局部空间自相关性分析:2015年山东省涂阳肺结核发病局域空间自相关主要表现为高-高、低-低和高-低3种聚集形式,发病高-高聚集区有2个,分别是鲁西北即以聊城市茌平县、东阿县及泰安市东平县为中心的聚集区,鲁东南即以青岛市城阳区、李沧区、崂山区、市南区为中心的聚集区,以上聚集区及其近邻区域均应为涂

表1 2015年1-4季度山东省肺结核报告发病率时空扫描分析

类别	聚集分级	聚集时间(季度)	涉及县(区)数	聚集中心	半径(km)	发病例数	期望发病例数	RR值	LLR值	P值
活动性肺结核	一级	2,3	31	岚山区	163.59	4 701	3 759	1.29	125.10	<0.001
	二级	3,4	5	东昌府区	40.81	1 085	648	1.70	125.08	<0.001
		2,3	3	汶上县	29.20	628	398	1.59	57.26	<0.001
		2,3	1	环翠区	0	193	109	1.77	26.23	<0.001
		4	1	惠民县	0	113	53	2.12	25.22	<0.001
涂阳肺结核	一级	2,3	5	张店区	24.02	580	459	1.27	15.05	<0.001
	二级	2,3	7	市南区	25.27	413	137	3.11	183.99	<0.001
		2,3	8	肥城市	49.49	487	247	2.03	94.22	<0.001
		1,2	1	德城区	0	89	28	3.25	43.07	<0.001
		4	1	惠民县	0	56	14	3.87	34.16	<0.001
		3,4	1	高唐县	0	56	22	2.51	17.84	<0.001
		1,2	1	苍山县	0	102	59	1.73	12.87	0.002
2,3	1	沾化县	0	39	18	2.20	9.49	0.042		

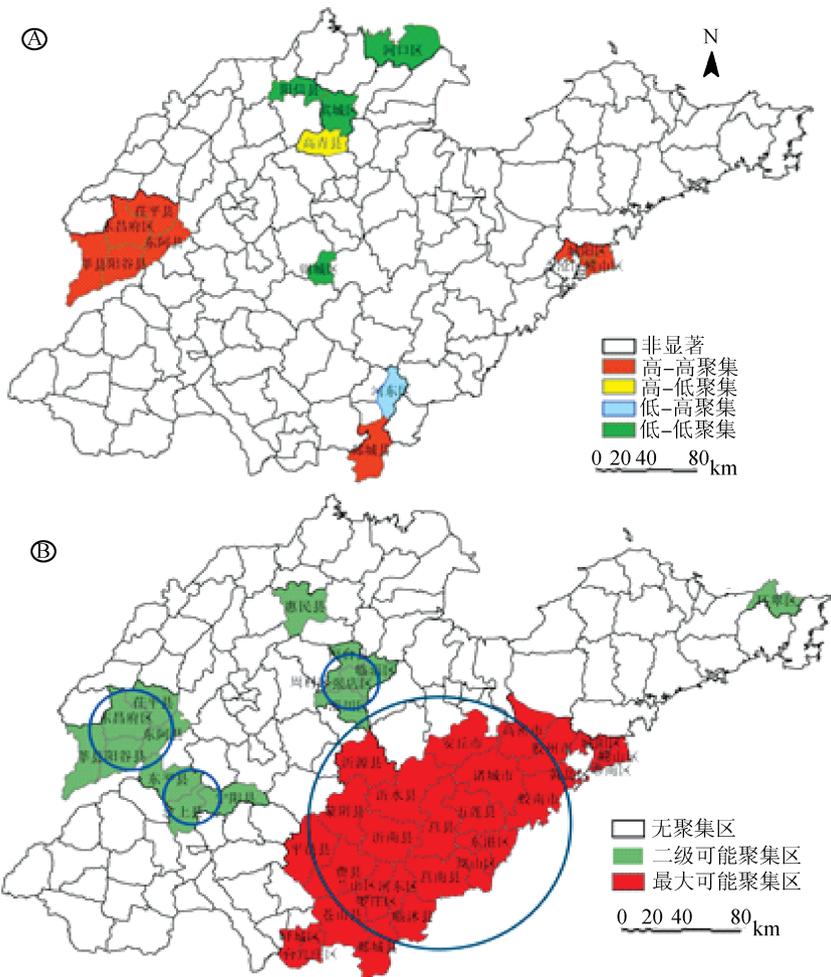


图2 2015年山东省活动性肺结核发病聚集类型(A)和时空扫描(B)

肺结核的重点防控地区;德州市德城区为涂阳肺结核发病的高-低聚集区;东营市河口区、济宁市金乡县为涂阳肺结核发病的低-低聚集区,即冷点区域(图3)。

(3)时空扫描分析:对2015年1—4季度涂阳肺结核报告发病率的时空扫描分析发现,最大可能的聚集区覆盖7个县(市、区),最大扫描半径为25.27 km,主要分布在鲁东南的青岛市(LLR=183.99, RR=3.11, P<0.001);二级聚集区主要集中在以肥城市为中心的区域(表1,图3)。

讨 论

相关研究表明肺结核的发病分布具有空间异质性^[7],且受社会、经济、环境、气候、地理、卫生服务等多方面因素影响^[8]。本研究结果显示2015年山东省活动性和涂阳肺结核报告发病率整体上均存在较强的空间聚集性,进一步局域空间自相关分析显示:活动性肺结核发病的高-高聚集区分别为鲁西北、中南和东南地区;在肺结核漏报较少时,活动性肺结核报

告发病率可以作为衡量该地区结核病负担水平的一项指标^[9]。通过活动性肺结核报告发病率聚集性分析,推断上述地区仍是山东省结核病负担较重区域。涂阳肺结核发病的高-高聚集区为鲁东南和西北地区。涂阳肺结核患者传染风险较高^[10],其报告发病率可反映该地区结核病传播的风险^[11],根据本研究空间分析结果可推定该两地区是山东省结核病传播风险较高的区域。疫情空间分析结果呈现两极分化情况,究其原因,发病聚集的鲁西北和中南地区其经济水平相对较低,医疗水平低及相关医疗制度设施不完善等可能导致发病聚集^[12];而经济发达的鲁东南地区发病聚集,可能与当地流动人口多有关^[13],加之人口密度大,发病后易造成播散,使疫情控制难度加大^[14]。

时空分析发现2015年山东省活动性肺结核发病聚集区主要集中在第2、3季度鲁中南的日照、临沂市,鲁东南的青岛市,鲁中的淄博市部分地区以及第3、4季度鲁西北的聊城市;涂阳肺结核发病主要集中在第2、3季度鲁东南的青岛市以及鲁西北的泰安市部分地区。与Li等^[15]分析全国4月为肺结核发病高峰以及金瑾和景睿^[16]调查山东省4和9月为学生肺结核发病高峰的结果相近。本研究显示,活动性肺结核的时空分布特征与涂阳肺结核并非完全一致,主要是因为涂阳肺结核仅为活动性肺结核的一部分,在某些时空条件下存在涂阳肺结核所占比例较高或较低的现象,因此可能会出现活动性与涂阳肺结核的时空分布特征不一致。

根据本研究的活动性及涂阳肺结核发病率空间分析,可初步判定鲁西北和鲁东南地区是山东省结核病高负担聚集地区,也是传播高风险聚集区域,鲁中南虽是结核病高负担区域但非传染高风险聚集区域,聚集时间主要集中在第2、3季度。研究表明,现阶段鲁西北、东南部和中南地区是山东省肺结核防控的重点区域,应予以加大防控力度。另外,本研究中有统计学意义的高-低聚集区因仅该区域疫情高

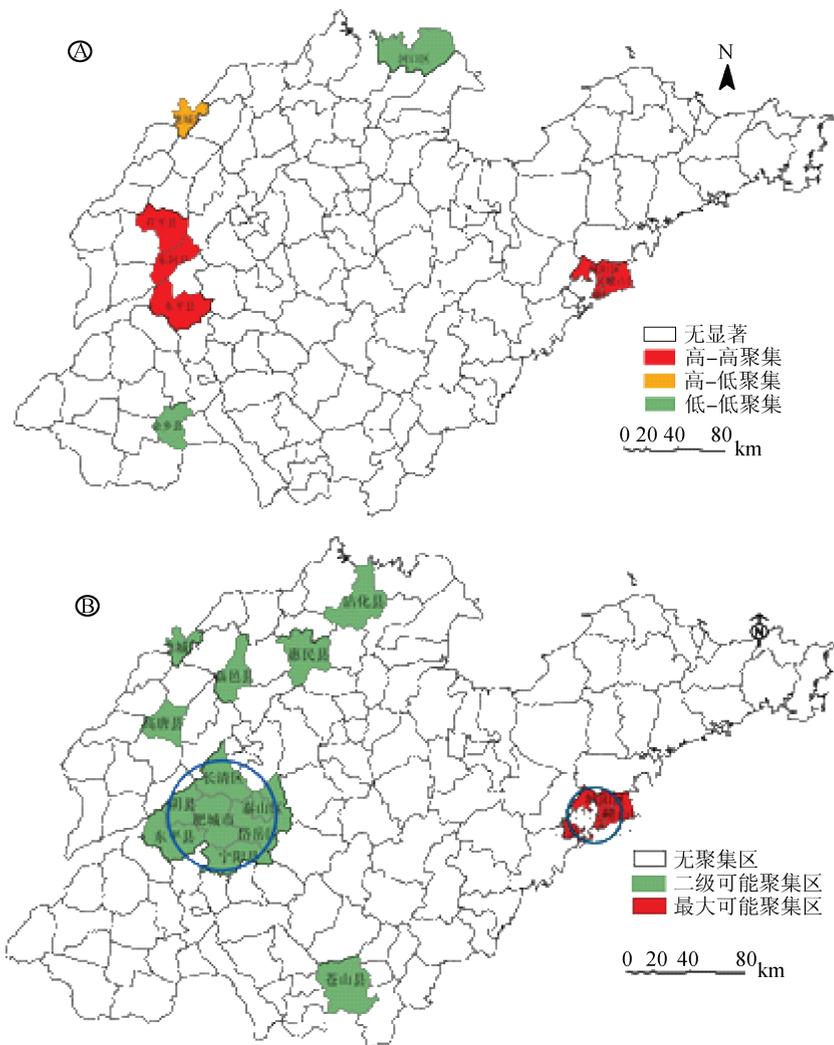


图3 2015年山东省涂阳肺结核发病聚集类型(A)和时空扫描(B)

而周围低,低-高聚集区因周围区域疫情高也应予以关注。

本研究存在局限性。采用的数据为肺结核报告发病率,其与当地患者就诊情况、主动发现患者的工作力度、报告患者奖惩制度等因素有关,有可能导致采用的报告发病率与实际发病率存在差异。

综上所述,本研究通过GIS揭示了山东省2015年活动性及涂阳肺结核发病的时空分布特征,可直观观察肺结核流行态势及发病的空间分布,初步确定防治重点区域,为及时调整或完善防控措施提供了参考依据。

利益冲突 无

参考文献

[1] Sun WY, Gong JH, Zhou JP, et al. A spatial, social and environmental study of tuberculosis in China using statistical and GIS technology [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2015, 12 (2): 1425-1448. DOI:10.3390/ijerph120201425.

[2] Wubuli A, Xue F, Jiang DB, et al. Socio-demographic predictors and distribution of pulmonary tuberculosis (TB) in Xinjiang, China: a spatial analysis [J]. *PLoS One*, 2015, 10(12): e0144010. DOI: 10.1371/journal.pone.0144010.

[3] 李芳,赵琦,王南南,等. 山东省2010年结核病流行病学抽样调

查 [J]. *中华流行病学杂志*, 2012, 33 (10): 997-1000. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2012.10.001.

Li F, Zhao Q, Wang NN, et al. Achievements on tuberculosis control in Shandong province—a population-based survey in 2010 [J]. *Chin J Epidemiol*, 2012, 33 (10): 997-1000. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2012.10.001.

[4] 李新旭,张慧,姜世闻,等. 2010年中国肺结核患病情况地理分布的研究 [J]. *中华流行病学杂志*, 2013, 34 (10): 980-984. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.10.009.

Li XX, Zhang H, Jiang SW, et al. Geographical distribution regarding the prevalence rates of pulmonary tuberculosis in China in 2010 [J]. *Chin J Epidemiol*, 2013, 34 (10): 980-984. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.10.009.

[5] Pfeiffer DU, Robinson TP, Stevenson M, et al. *Spatial analysis in epidemiology* [M]. Oxford: Oxford University Press, 2008: 35-37.

[6] 姜庆五,赵飞. 空间自相关分析方法在流行病学中的应用 [J]. *中华流行病学杂志*, 2011, 32 (6): 539-546. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2011.06.002.

Jiang QW, Zhao F. Application of spatial autocorrelation method in epidemiology [J]. *Chin J Epidemiol*, 2011, 32 (6): 539-546. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2011.06.002.

[7] 孙果梅,高谦,彭文祥. 结核病空间流行病学研究进展 [J]. *中华流行病学杂志*, 2010, 31 (10): 1188-1191. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.10.026.

Sun GM, Gao Q, Peng WX. Progress on spatial epidemiology of tuberculosis [J]. *Chin J Epidemiol*, 2010, 31 (10): 1188-1191. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.10.026.

[8] Li XX, Wang LX, Zhang J, et al. Exploration of ecological factors related to the spatial heterogeneity of tuberculosis prevalence in P.R. China [J]. *Glob Health Act*, 2014, 7: 23620. DOI: 10.3402/gha.v7.23620.

[9] 赵飞,王黎霞,成诗明,等. 中国2008—2010年结核病空间分布特征分析 [J]. *中华流行病学杂志*, 2013, 34 (2): 168-172. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.02.015.

Zhao F, Wang LX, Cheng SM, et al. Analysis on the spatial clustering of tuberculosis based on provincial level in China from 2008 to 2010 [J]. *Chin J Epidemiol*, 2013, 34 (2): 168-172. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.02.015.

[10] Abubakar I. Tuberculosis and air travel: a systematic review and analysis of policy [J]. *Lancet Infect Dis*, 2010, 10(3): 176-183. DOI: 10.1016/S1473-3099(10)70028-1.

[11] Zhao F, Cheng SM, He GX, et al. Space-time clustering characteristics of tuberculosis in China, 2005-2011 [J]. *PLoS One*, 2013, 8(12): e83605. DOI: 10.1371/journal.pone.0083605.

[12] 孙果梅,路丽苹,彭文祥,等. 2006—2009年上海市松江区结核病空间分布特征及影响因素 [J]. *中华预防医学杂志*, 2012, 46 (10): 903-907. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2012.10.009.

Sun GM, Lu LP, Peng WX, et al. Spatial distribution and risk factors of tuberculosis in Songjiang district, Shanghai during 2006 and 2009 [J]. *Chin J Prev Med*, 2012, 46 (10): 903-907. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2012.10.009.

[13] Li T, He XX, Chang ZR, et al. Impact of new migrant populations on the spatial distribution of tuberculosis in Beijing [J]. *Int J Tuberc Lung Dis*, 2011, 15(2): 163-168.

[14] Jia ZW, Jia XW, Liu YX, et al. Spatial analysis of tuberculosis cases in migrants and permanent residents, Beijing, 2000-2006 [J]. *Emerg Infect Dis*, 2008, 14(9): 1413-1419. DOI: 10.3201/eid1409.071543.

[15] Li XX, Wang LX, Zhang H, et al. Seasonal variations in notification of active tuberculosis cases in China, 2005-2012 [J]. *PLoS One*, 2013, 8 (7): e68102. DOI: 10.1371/journal.pone.0068102.

[16] 金瑾,景睿. 山东省2013年学生肺结核疫情特征分析 [J]. *中华流行病学杂志*, 2015, 36 (8): 871-874. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2015.08.022.

Jin J, Jing R. Epidemiologic feature of pulmonary tuberculosis in students from Shandong province [J]. *Chin J Epidemiol*, 2015, 36 (8): 871-874. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2015.08.022.

(收稿日期:2016-02-04)
(本文编辑:张林东)