贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型在新疆肺结核漏报风险中的应用研究*

梁智超[1]　王新旗[2,3]　胥婉婷[2]　张　燕[2]　王俊安[2]　刘广超[2]　王森路[2,3]　曹明芹[2△]

【提　要】 **目的**　使用 2014—2020 年新疆 14 个地州肺结核报告数据结合影响肺结核报告发病率的相关社会、经济、环境因素，建立贝叶斯框架下的 Poisson-logistic 联合模型，探究肺结核报告数据潜在的漏报区域，为后续的结核病的精准防控决策提供有力的证据支持。**方法**　收集影响肺结核报告过程和患病过程的相关因素，使用地理探测器法中的因子探测器筛选重要协变量将其纳入模型，分别构建新疆肺结核报告发病模型和肺结核期望发病模型，共同构成肺结核漏报的混合模型（Poisson-logistic 联合模型）。应用混合模型对新疆各地州肺结核漏报风险进行相应估计，探究肺结核潜在漏报风险地区分布。**结果**　因子探测器结果对显示人均国民生产总值（gross domestic product，GDP）与对肺结核漏报风险的贡献率最大（0.5481）；拟合优度检验表明数据拟合良好（贝叶斯 P 值<0.001），贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型可应用于 2014—2020 年新疆肺结核报告数据的漏报风险研究。结果显示肺结核报告数据的漏报风险集中在南疆四地州，其中喀什地区肺结核报告数据的漏报风险最大 0.1426（0.1403，0.1445）。漏报风险较低集中在新疆东部与中部，其中克拉玛依市的漏报风险最低［0.1017（0.9983，0.1034）］。在贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型中，研究发现，人口密度（IRR=1.0060，95%CI：1.0059～1.0061）和全年平均气温（IRR=1.0087，95%CI：1.0086～1.0088）是肺结核漏报的危险因素，人均 GDP（IRR=0.9385，95%CI：0.9365～0.9394）和注册护士数（IRR=0.9916，95%CI：0.9913～0.9920）的增加可降低肺结核漏报风险。**结论**　贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型可应用于评估新疆肺结核漏报风险，模型探究了新疆维吾尔自治区报告发病率和期望发病率之间的显著差异，反映出报告数据的漏报趋势并定位到潜在的漏报风险区域，为新疆肺结核因地制宜的精准防控策略提供理论依据。

【关键词】 漏报风险　肺结核　贝叶斯混合模型

【中图分类号】 R521　　【文献标识码】 A　　**DOI**　10.11783/j.issn.1002-3674.2025.02.012

Application of Bayesian Poisson-logistic Joint Model in Assessing Underreporting Risk of Pulmonary Tuberculosis in Xinjiang

Liang Zhichao, Wang Xinqi, Xu Wanting, et al (*Xinjiang College of Science & Techology*, *Korla* 841000)

【**Abstract**】 **Objective**　A joint Poisson-logistic model in a Bayesian framework is proposed to constructed using tuberculosis (TB) reporting data from 14 prefectures in Xinjiang from 2014 to 2020 in combination with relevant social, economic, and environmental factors affecting the reported incidence rate of TB to explore potential underreporting areas of the TB reporting data, and to provide a strong evidence-based support for the subsequent decision-making on the precision prevention and control of TB. **Methods**　Relevant factors affecting the reporting process and disease process of TB were collected, and important covariates were screened for inclusion in the model using the factor detector in the Geo-detector method, and the reported incidence model of TB and the expected incidence model of TB in Xinjiang were constructed separately, which together constituted a hybrid model of underreporting of TB (Poisson-logistic joint model). The mixed model was used to estimate the risk of TB underreporting in each prefecture of Xinjiang, and to explore the regional distribution of the potential risk of TB underreporting. **Results**　Factor detector result pairs showed that GDP per capita was associated with the largest contribution to the risk of TB underreporting (0.5481); goodness-of-fit test showed that the data were well fitted (Bayesian P-value <0.001), and the Bayesian Poisson-logistic joint model could be applied to the study of the risk of underreporting of TB reporting data in Xinjiang from 2014 to 2020. The results showed that the risk of underreporting of TB The risk of underreporting of reported data was concentrated in the four southern Xinjiang prefectures, with the greatest risk of underreporting of TB reported data in Kashgar 0.1426 (0.1403, 0.1445). The lower risk of underreporting was concentrated in the eastern and central parts of Xinjiang, with the lowest risk of underreporting in the city of Karamay [0.1017 (0.9983, 0.1034)]. In a joint Bayesian Poisson-logistic model, it was found that population density (IRR=1.0060, 95% CI: 1.0059～1.0061) and average annual temperature (IRR=1.0087, 95% CI: 1.0086～1.0088) were risk factors for underreporting of TB, and GDP per capita (IRR=0.9385, 95% CI: 0.9365～0.9394) and an increase in the number of registered nurses (IRR=0.9916, 95% CI: 0.9913 to 0.9920) reduced the risk of TB underreporting. **Conclusion**　The Bayesian Poisson-logistic joint model estimated the potential incidence of TB in Xinjiang Uygur Autonomous Region and revealed significant discrepancies between reported and true TB incidence rates. It identified underreporting trends and localized potential underreporting risk areas, providing a theoretical basis for tailored and precise TB prevention and control strategies in Xinjiang.

【**Key words**】 Underreporting risk; Pulmonary tuberculosis; Bayesian mixed model

肺结核（tuberculosis，TB）是世界范围内仅次于 COVID-19 的单一传染病死亡原因，严重危害人类健康[1]。根据世界卫生组织《Global tuberculosis report 2022》[2]统计数据显示，2022 年估计高达 420 万的结

* 基金项目：地区科学基金项目（824606691004214）

1. 新疆科技学院（841000）
2. 新疆医科大学公共卫生学院
3. 新疆维吾尔自治区疾病预防控制中心
△通信作者：曹明芹，E-mail：573596229@qq.com

核病例未能被诊断或报告,10 个国家占全球结核病发病数和报告数之差的 75%,其中我国排第七[3],漏报形势不容乐观,新疆维吾尔自治区(简称“新疆”)作为肺结核高负担地区,及时评估漏报风险对于制定有效的防控策略非常重要。

肺结核的流行病学监测已被证明是协助控制和预防肺结核的一个重要工具[4],准确的肺结核监测数据对估计疾病负担和提供科学准确的信息是至关重要的[5]。但是由于肺结核感染大多为潜隐感染[6]且症状缺乏特异性不能及时确诊[7],肺结核监测数据难以避免漏报事件的发生。肺结核监测数据的漏报大多与医疗卫生系统[3-4]有关。患者的求医行为、医生的经验诊断等因素都会增加肺结核发生漏报的风险[8]。评估肺结核监测数据的漏报研究属于公共卫生监测系统评价的重要内容之一[9],它体现监测系统发现和确认肺结核患者的能力。目前,评估肺结核监测数据漏报的相关研究依赖于区域内特定的模型。通过构建数学模型对监测数据的漏报风险进行探究[10],并对漏报的变化情况进行评价,对肺结核的精准防控工作提供理论依据具有重要意义。本研究通过引入 Geo-detector 的方法筛选出关键的地理因素,从而更好地理解和预测肺结核漏报的发生。而引入的贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型是一种统计模型,用于分析和预测肺结核发生率受到多个因素的影响情况。

本研究基于贝叶斯理论下的联合模型评估新疆肺结核报告数据的漏报情况,探索肺结核漏报风险与各种因素之间的关系,探究潜在的漏报风险地区,及时发现和治疗患者,减少病例的漏诊漏报,遏制疫情的扩散。为肺结核的精准防控策略提供理论依据。

资料来源

2014—2020 年新疆维吾尔自治区肺结核报告发病资料来源于中国疾病预防控制结核病信息管理系统;本研究选取的环境因素(年平均气温、年平均降水、年平均日照时长)来自中国科学院资源环境科学与数据中心(resource and environment science and data center, RESDC)的数据集。人口密度与人均 GDP 来自 2014—2021 年新疆维吾尔自治区 14 个地州市国民经济和社会发展统计公报。具体数据来源及计算见表 1。

表 1 数据来源与计算

变量	单位	数据来源(计算公式)
人口数	万人	2014—2021 年新疆维吾尔自治区统计年鉴
结核病报告发病数	人	中国疾病预防控制信息系统-新疆维吾尔自治区结核病管理信息系统
结核病报告发病率	/10 万人	结核病报告发病数/人口数(10 万)
区域面积	平方公里	2014—2021 年新疆维吾尔自治区统计年鉴
人口密度	人/平方公里	人口数/区域面积
人均国内生产总值	元/人	2014—2021 年新疆维吾尔自治区统计年鉴
农村居民可支配收入	元/人	2014—2021 年新疆 14 个地州市国民经济和社会发展统计公报
城镇居民可支配收入	元/人	2014—2021 年新疆 14 个地州市国民经济和社会发展统计公报
农村居民参加基本医疗保险人数	万人	2014—2021 年新疆 14 个地州市国民经济和社会发展统计公报
城镇居民参加基本医疗保险人数	万人	2014—2021 年新疆 14 个地州市国民经济和社会发展统计公报
每万人床位数	张/万人	2014—2021 年新疆维吾尔自治区统计年鉴
医疗机构数	个	2014—2021 年新疆 14 个地州市国民经济和社会发展统计公报
执业医师数	人	2014—2021 年新疆 14 个地州市国民经济和社会发展统计公报
注册护士数	人	2014—2021 年新疆 14 个地州市国民经济和社会发展统计公报
年平均气温	摄氏度	2014—2021 年新疆维吾尔自治区统计年鉴
年平均降水	毫米	2014—2022 年新疆维吾尔自治区统计年鉴
年平均日照时长	时(小时)	2014—2023 年新疆维吾尔自治区统计年鉴

研究方法

1. 变量的筛选与纳入

研究应用地理探测器(Geo-detector)的分析方法探索肺结核的空间分异性,发现肺结核的危险因素以及风险区域。该模型分为 4 个部分,其中地理探测器部分中的因子探测器对纳入模型的变量进行筛选具有较好的应用意义,因子探测器的原理主要通过对每个自变量的 q 值进行度量,q 值取值范围为[0,1],其值越大,表明该影响因子(变量)对肺结核发病风险的空间分异的解释能力越强,从而筛选出肺结核发病风险的主要影响因素,公式如下:

$$q=1-\frac{1}{N\sigma^2}\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2$$

其中,N 代表整个研究区域,σ^2 代表肺结核报告发病率的方差。在整个研究区域内,肺结核报告发病率,被

所研究的风险因素离散为 L 层（$h=1,2,\cdots,L$）。N_h 和 σ_h^2 分别代表 h 层和 h 层上肺结核报告发病率的方差。$q=1$ 代表肺结核发病率在空间上的分布，可以完全由所研究的某个因子解释，即肺结核报告发病率的空间分布与某个因素完全一致（相关性较强），$q=0$ 代表肺结核报告发病率与所研究的因子毫不相关。

2. 贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型

（1）肺结核报告发病模型的构建

将因子探测器结果有统计学的意义（$P<0.05$）的自变量纳入贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型，其中农村居民收入水平（$X1$）、城镇居民收入水平（$X2$）、农村居民参加基本医疗保险人数（$X3$）、城镇居民参加基本医疗保险人数（$X4$）、医疗机构数（$X5$）与报告发病率有关，因此将其纳入构建的肺结核报告发病模型，刻画肺结核报告发病过程的贝叶斯混合模型的似然函数表示为：

$$z_{s,t}\mid y_{s,t}\sim Binomial(y_{s,t},\pi_{s,t})$$

$$\pi_{s,t}=z_{s,t}/y_{s,t}$$

$$\text{logit}(\pi_{s,t})=\beta_0+\beta_1X1+\beta_2X2+\beta_3X3+\beta_4X4+\beta_5X5$$

上式中 t 时刻 s 区域内期望发病数为 $y_{s,t}$，每个患者被报告的概率为 $\pi_{s,t}$，则 t 时刻 s 区域的肺结核报告发病数 $z_{s,t}$ 服从 $Binomial(y_{s,t},\pi_{s,t})$，其中影响 $\pi_{s,t}$ 的因素为 $X1$、$X2$、$X3$、$X4$、$X5$，$y_{s,t}$ 是关于 $z_{s,t}$ 的层次二项模型中的潜变量。截距 β_0 采用正态分布的有信息先验。

（2）肺结核期望发病模型的构建

$y_{s,t}$ 服从泊松分布，假设其期望为 $\lambda_{s,t}$，可通过潜模型将其可能影响肺结核患病的因素人口密度（$X7$）、人均 GDP（$X8$）、执业医生数（$X9$）、注册护士数（$X10$）、全年平均气温（$X11$）、全年平均降水（$X12$）联系起来，反映期望发病数。刻画肺结核期望发病过程的贝叶斯混合模型的似然函数表示为：

$$y_{s,t}\sim Poisson(\lambda_{s,t})$$

$$\log(\lambda_{s,t})=\alpha_0+\alpha_1X7+\alpha_2X8+\alpha_3X9+\alpha_4X10+\alpha_5X11+\alpha_6X12$$

截距 α_0 采用正态分布的有信息先验。

3. 统计方法

使用 excel 软件分别建立肺结核地理信息数据库与肺结核漏报影响因素的初始研究数据库，在 ArcGIS 10.2 地理信息系统分析软件中以 14 个区县的行政区域代码为准，匹配并关联数据绘制肺结核报告发病率和拟合期望发病率的可视化地图和变量间相关性分析使用 R 4.2.2 统计分析软件包（nimble、R2WinBUGS、brms、MCMC pack、r jags 包）联合构建贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型，对漏报情况进行分析并进行参数估计。参数估计方法为马尔科夫蒙特卡洛（MCMC）算法，使用贝叶斯 P 值判断模型的拟合程度，以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

研究结果

1. 自变量的最优离散化处理结果

研究使用离散化方法包括相等间隔法、自然间断点法、分位数分类法、几何间隔法与标准差法等五种常用数据离散化方法，对比选择最优离散化方法。结果如表 2 所示。

表 2　变量的最优离散化分类

连续型变量	最优离散方法	分类（类）
人口密度	分位数分类法	8
全年平均气温	几何间断法	8
全年平均降水	分位数分类法	7
全年平均日照时数	自然间断法	8
每万人医疗机构床位数	标准差法	8
人均 GDP	自然间断法	6
城市人均年收入	分位数分类法	8
农村人均年收入	自然间断法	6
农村居民参加基本医疗保险人数	分位数分类法	7
城镇居民参加基本医疗保险人数	分位数分类法	8
医疗机构数	标准差法	5
执业医生数	自然间断法	8
注册护士数	标准差法	7

2. 变量的筛选

根据上述自变量的最优离散化方法的分类纳入地理探测器模型，采用地理探测器模型中的因子探测器分析肺结核报告数据漏报风险影响因素，因子探测器结果显示人均 GDP（0.5481）>城镇居民参加基本医疗保险人数（0.5343）>全年平均气温（0.4529）>农村人均年收入（0.3716）>医疗机构数（0.3670）>执业医生数（0.3339）>人口密度（0.3161）>注册护士数（0.2872）>城市人均年收入（0.1962）>全年平均降水（0.1930）>农村居民参加基本医疗保险人数（0.1724），全年平均日照时数和每万人医疗机构床位数与肺结核漏报风险无统计学意义（$P>0.05$），见表 3。

表 3　因子探测器分析结果

变量	q 值	P 值
人口密度	0.3161	<0.001
全年平均气温	0.4529	<0.001
全年平均降水	0.1930	<0.001
全年平均日照时数	0.0827	0.383
每万人医疗机构床位数	0.1314	0.186
人均 GDP	0.5481	<0.001
城市人均年收入	0.1962	0.018
农村人均年收入	0.3716	<0.001
农村居民参加基本医疗保险人数	0.1724	0.020
城镇居民参加基本医疗保险人数	0.5343	<0.001
医疗机构数	0.3670	0.001
执业医生数	0.3339	<0.001
注册护士数	0.2872	0.010

3. 新疆肺结核报告发病率与期望发病率的一般情况

研究通过建立贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型得出模拟的 2014—2020 年 14 个地州的实际发病率与 95%置信区间与报告发病率进行比较，结果显示肺结核报告数据的漏报风险较大的前四位有喀什地区、和田地区、阿克苏地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州，其中喀什地区肺结核报告数据的漏报风险最大 0.1426（0.1403，0.1445），克拉玛依市肺结核报告数据的漏报风险最小 0.1017（0.9983，0.1034），见图 1。

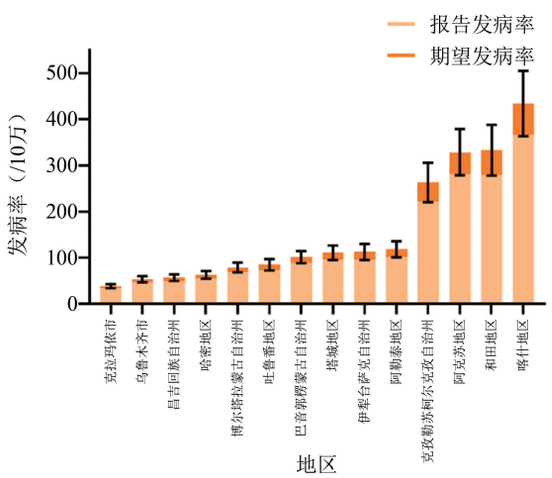


图 1 2014—2020 年新疆 14 个地州肺结核报告发病率与期望发病率（95%*CI*）

4. 新疆肺结核报告发病率与期望发病率的空间分布

2014—2020 年的新疆肺结核报告发病率如图 2A 所示，结果显示报告发病率高的地区主要集中在新疆的西南地区，排在前四位的有喀什地区、阿克苏地区、和田地区和克孜勒苏柯尔克孜自治州（南疆四地州），报告发病率低的地区主要集中在新疆的中部和东部地区，主要包括乌鲁木齐市、昌吉回族自治州和哈密市；经过模型拟合后的肺结核期望发病率的可视化地图结果如图 2B 所示，结果显示喀什地区、阿克苏地区、和田地区和克孜勒苏柯尔克孜自治州的期望发病风险较高，乌鲁木齐市、昌吉回族自治州和哈密市期望发病风险较低。

5. 新疆肺结核报告发病率与期望发病率的时间分布

新疆肺结核报告发病率与期望发病率的时间分布趋势如图所示，报告发病率与期望发病率的时间趋势相似，模型估计的期望发病率的 95%置信区间涵盖了报告发病率，2017—2018 年肺结核期望患病率呈上升趋势，2018—2020 年肺结核期望发病率呈下降趋势（图 3）。

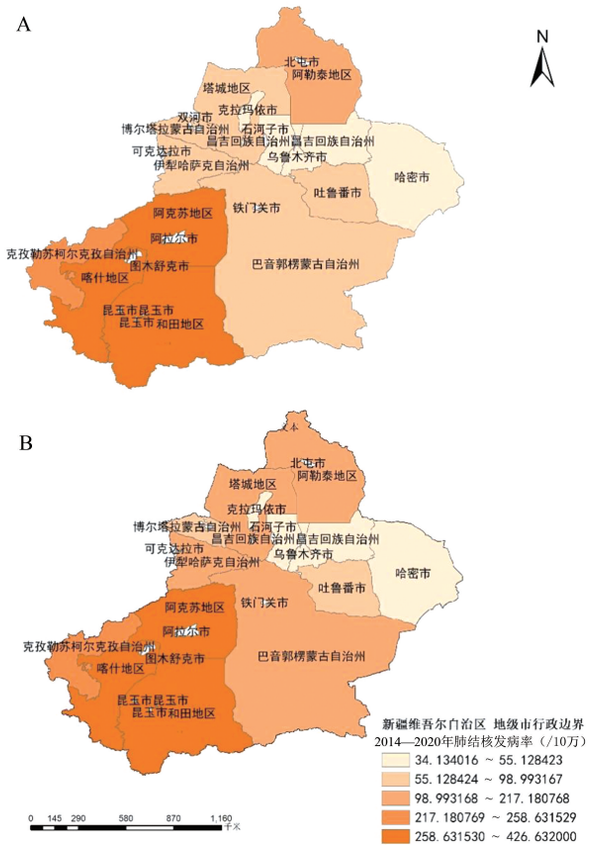


图 2 2014—2020 年新疆肺结核报告发病率（A）和期望发病率（B）的空间分布

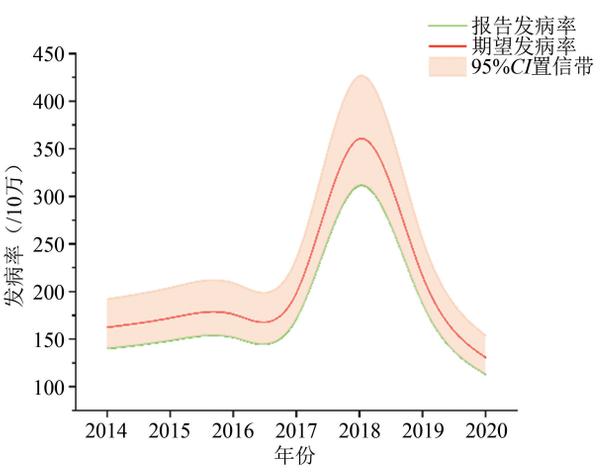


图 3 2014—2020 年新疆肺结核报告发病率与期望发病率的时间分布

6. 社会经济和环境因素对新疆肺结核传播和漏报水平的影响

在贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型中，研究发现，人口密度增加一个单位，肺结核漏报率增加 0.60%（*IRR*=1.0060，95%*CI*：1.0059~1.0061），人口密度仍然是肺结核漏报率的重要预测因素。人均 GDP 增加一个单位，肺结核漏报率减少 6.30%（*IRR*=0.9385，95%*CI*：0.9365~0.9394）。注册护士数增加一个单位，肺结核漏报率减少 0.84%（*IRR*=0.9916，95%*CI*：0.9913~0.9920）。全年平均气温增加一个单位，肺结

核漏报率增加 0.87%（*IRR* = 1.0087，95% *CI*：1.0086～1.0088）。执业医生数和全年平均降水与肺结核漏报率无相关性，见表 5。

表 5　贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型参数估计密度

	回归系数（95% *CI*）	*IRR* 值（95% *CI*）
截距	2.2450（2.2150，2.2750）	9.4370（9.1620，9.7340）*
人口密度	0.0060（0.0059，0.0061）	1.006（1.0059，1.0061）*
人均 GDP	−0.0630（−0.0650，−0.0620）	0.9385（0.0.9365，0.9394）
执业医生数	−0.0010（−0.0011，0.0009）	0.9999（0.9989，1.0009）
全年平均气温	0.0087（0.0086，0.0088）	1.0087（1.0086，1.0088）*
注册护士数	−0.0084（−0.0087，−00080）	0.9916（0.9913，0.9920）*
全年平均降水	−0.0010（−0.0003，0.0017）	0.9999（0.9997，1.0017）

*：*P*<0.05

7. 模型的拟合优度检验

研究通过后验预测模型检验期望发病数和报告发病数的一致性，图 4 显示了报告发病与期望发病数的平均预测值的散点图，图中表明贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型可以很好地估计漏报风险。贝叶斯 *P* 值< 0.001，表明该模型与观察到的数据拟合良好。

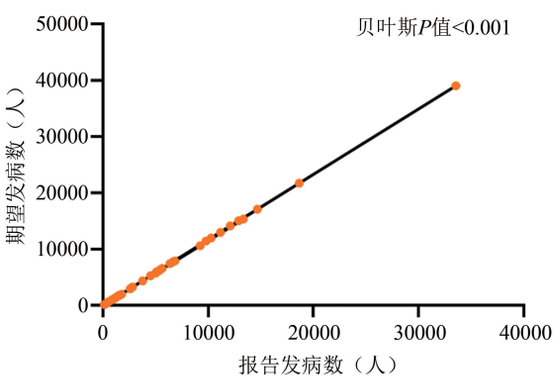


图 4　2014—2020 年新疆肺结核报告发病数与期望发病数的散点图

讨　论

肺结核是一种严重危害人类健康的慢性传染病，如果未及时发现和报告，将对个人和社会经济造成严重的危害。漏报肺结核患者成为潜在的感染源，将妨碍疫情监测和控制。报告数据是监测肺结核疫情和了解病情发展趋势的重要依据。如果出现漏报情况，就无法准确评估疫情的严重程度和传播趋势，难以采取及时有效的控制措施，可能导致疫情蔓延和爆发，增加疾病负担，研究通过构建贝叶斯 Poisson-logistic 模型可以同时考虑多个因素对漏报率的影响，包括人口密度、医疗资源等。贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型的优势是可以处理不完全观测数据和缺失数据，从而更全面地分析漏报率的影响因素，而贝叶斯方法可以通过引入先验分布和贝叶斯推断来处理这些不完全观测数据，提高模型的鲁棒性和预测能力；贝叶斯方法还可以通过后验分布来估计模型参数的不确定性，从而提供更全面和可靠的结果。这对于研究人员和决策者来说是非常有价值的，以便更好地理解模型的可靠性和结果的解释。

贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型结合了 Poisson 回归和 logistic 回归两种模型的特点。Poisson 回归用于建模计数型数据，可以描述事件发生的次数与自变量之间的关系。而 logistic 回归则用于建模二分类数据，可以描述事件发生的概率与自变量之间的关系，而贝叶斯方法则可以根据已有的先验知识和观测数据，通过贝叶斯推断来估计模型参数和进行预测。

研究结果显示，人均 GDP 是影响肺结核期望发病率的重要影响因素，较多的研究表明经济发展可降低结核病的发病率[11-13]。人口密度也是影响肺结核期望发病率的重要影响因素[11]，由于肺结核初期症状无特异性易造成肺结核患者的漏报，在人口密度大的地区，肺结核的漏报风险也随之加大[14]。研究发现随着注册护士数的增加，肺结核漏报风险呈现下降的趋势，与 Rosenberg 等人[15]的研究结果一致。由于护士数量较多时，患者可以得到更加细致和个体化的护理，包括定期监测病情、提供药物管理和指导，以及心理支持等方面的服务，这种全面的护理有助于提高肺结核患者的治疗依从性和康复效果，从而降低漏报风险。研究发现环境中的温度影响肺结核的发病，这与 Nie 等人[16-17]研究结论相符，可能是一定的温度加速了人口的流动，人口的流动增加了感染的风险，进而增加了漏报的风险，可以进一步探究相关因果关系。

时间尺度上，研究发现 2017—2020 年新疆肺结核发病率的差值在缩小，这是因为新疆从 2016 年 9 月开始实施全民健康体检工程，表明加强主动发现有利于降低肺结核患者的漏报，这与 Haq 等人[18-19]的研究结论一致，表明新疆采取肺结核的主动发现策略的实施取得了相当的成效。

空间尺度上，研究发现肺结核患病率较高的区域集中在新疆的西南部（喀什地区、和田地区、阿克苏地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州）（简称“南疆四地州”），2018 年，结核病防治专项行动（2018—2020 年）开展，南疆四地州进行全人群的疑似肺结核筛查工作，对肺结核患者的主动发现全面展开，肺结核的漏报程度在降低，肺结核报告数据的漏报情况在改善。

研究构建了贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型，估计了新疆维吾尔自治区潜在结核病发病率的情况，探究了新疆维吾尔自治区报告发病率和期望发病率之间的显着差异，反映出报告数据的漏报趋势并定位到潜在的漏报风险区域。通过模拟和推断，为决策者提供科学的依据和理论指导。研究还存在一定不足，包括①模型未纳入时间和空间误差效应，一定程度上掩盖

了时间和空间对肺结核漏报的影响。②新疆土地面积较大,各地州的数据可能无法期望反映新疆结核病的期望发病情况,需进行区县级数据的详细分析。

综上所述,贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型是一种适用于研究新疆肺结核漏报风险的统计模型,可以帮助分析和预测漏报率与各种因素之间的关系。为了有效预防和控制肺结核,必须及时评估肺结核漏报风险。同时,选择贝叶斯 Poisson-logistic 联合模型和 Geo-detector 方法可以更好地揭示新疆肺结核漏报风险的影响因素和空间分布,从而为肺结核精准防控工作提供科学依据和指导,减少肺结核漏报风险,提升整体社会经济发展水平和人民的健康福祉。

参 考 文 献

[1] 舒薇, 刘宇红. 精进臻善 惟实励新:世界卫生组织《2022 年全球结核病报告》解读[J].中国防痨杂志, 2023, 45(5): 454-457.

[2] World Health Organization. Global tuberculosis report 2022[EB/OL]. (2022-10-26)[2024-07-23]. https://www.who.int/zh/publications/m/item/global-tuberculosis-report-2022-factsheet.

[3] Li T, Chen W, Zhao Y, et al. Underreporting of notifiable pulmonary tuberculosis cases to the national tuberculosis information management system-China, 2015[J]. China CDC Wkly, 2020, 2(12): 185-189.

[4] Lungu PS, Kabaso ME, Mihova R, et al. Undernotification and underreporting of tuberculosis in zambia: A national data quality assessment[J].BMC Health Serv Res, 2022, 22(1): 1074.

[5] Zhang Y, Chang HH, Cheng Q, et al. A hierarchical model for analyzing multisite individual-level disease surveillance data from multiple systems[J].Biometrics, 2023,79(2):1507-1519.

[6] Karbito K, Hardhono S, Sakundarno AM, et al. Latent tuberculosis infection in family members in household contact with active tuberculosis patients in Semarang City, Central Java, Indonesia[J].Journal of Public Health in Africa, 2022, 13(2).

[7] Trenchard HJ. Symptoms of early pulmonary tuberculosis[J]. Lancet, 1945, 2(6383): 842.

[8] 杜明梅, 刘运喜. 我国传染病监测预警系统的发展与应用[J].中华医院感染学杂志, 2022, 32(6): 801-804.

[9] Tollefson D, Ngari F, Mwakala M, et al. Under-reporting of sputum smear-positive tuberculosis cases in Kenya[J]. The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease, 2016, 20(10): 1334-1341.

[10] 李涛, 杜昕, 赵雁林. 传染病动态模型与中国结核病发病率估算[EB/OL]. (2022-12-30)[2025-02-16]. https://mp.weixin.qq.com/s/7jdI_A7hE3u602EqW8RoZA.

[11] Zhang Q, Song W, Liu S, et al. An ecological study of tuberculosis incidence in China, from 2002 to 2018[J]. Front Public Health, 2021, 9: 766362.

[12] Siroka A, Ponce NA, Lönnroth K. Association between spending on social protection and tuberculosis burden: A global analysis[J].Lancet Infect Dis, 2016, 16(4): 473-479.

[13] 张文豪,肖川,任涛,等.2004—2013 年绵阳市结核病发病的生态学趋势研究[J]. 四川大学学报(医学版), 2016, 47(5): 759-762.

[14] Ruiz-Tornero AM, Sánchez-Recio R. Tuberculosis and socioeconomic factors in Spanish population: A systematic review[J].Revista Espanola de Salud Publica, 2022, 96:e202212089.

[15] Rosenberg K. Nurse-led intervention improves tuberculosis treatment completion in homeless population[J].Am J Nurs, 2022, 122(3): 45.

[16] Nie Y, Lu Y, Wang C, et al. Effects and interaction of meteorological factors on pulmonary tuberculosis in Urumqi, China, 2013—2019[J].Front Public Health, 2022, 10: 951578.

[17] Chaw L, Liew SQR, Wong J. Association between climate variables and pulmonary tuberculosis incidence in Brunei Darussalam[J].Sci Rep, 2022, 12(1): 8775.

[18] Haq MU, Hinderaker SG, Fatima R, et al. Are patients with pulmonary tuberculosis identified by active and by passive case detection different? A cross-sectional study in Pakistan[J].Int J Infect Dis, 2022, 121: 39-46.

[19] Li Z, Liu Q, Zhan M, et al. Meteorological factors contribute to the risk of pulmonary tuberculosis: A multicenter study in Eastern China[J].Sci Total Environ, 2021, 793: 148621.

(责任编辑:郭海强)