

# 2021—2023 内蒙古自治区布鲁氏菌病流行特征 与影响因素分析

朱新文<sup>1</sup>, 洪志敏<sup>1</sup>, 高永明<sup>2</sup>, 王虎虎<sup>2</sup>

1. 内蒙古工业大学理学院, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古自治区疾病预防控制中心

**摘要:**目的 探讨 2021—2023 年内蒙古自治区人间布鲁氏菌病(布病)的流行特征及气象因素对布病发病率影响的空间变化特征,为其防控和公共卫生资源分配提供科学依据。方法 从内蒙古自治区疾病预防控制中心收集了经脱敏处理的 2021 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日的人间布病病例数据,通过描述性分析探究内蒙古自治区布病的三间分布。利用局部自回归混合地理加权回归(Mixed GWR-LSAR)模型逐月分析布病发生的空间自相关性和异质性,并与空间自回归模型、地理加权回归模型和局部自回归地理加权回归模型的拟合效果相比较。结果 2021—2023 年内蒙古布病病例 56 483 例,3—7 月为高发期;男性发病率为 53.67/10 万,显著高于女性( $\chi^2 = 25.803, P < 0.05$ );病例职业构成中农民占比最大;41~60 岁人群发病率最高(43.60/10 万);内蒙古布病发病率呈空间正相关,高发地多集中于东部和西部;Mixed GWR-LSAR 模型拟合效果最优;月均风速、气温、气压和蒸发量在各月对布病发病率的影响存在空间差异。结论 内蒙古布病流行的季节性、人群和空间分布呈流行病学特征,气象因素在不同月份和地区对布病发病率的影响不同。因此,布病防控策略需具有针对性和区域性,以更有效地降低布病发生风险。

**关键词:** 人间布鲁氏菌病;气象因素;空间变化特征;局部自回归混合地理加权回归模型

中图分类号:R211;R188.2 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2024)24-4423-07

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202408123

## Analysis of the epidemiological characteristics and influencing factors of Brucellosis in Inner Mongolia Autonomous region, 2021 – 2023

ZHU Xin-wen\*, HONG Zhi-min, GAO Yong-ming, WANG Hu-hu

\* College of Science, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot, Inner Mongolia 010051, China

**Abstract: Objective** To explore the epidemiological characteristics of human brucellosis in Inner Mongolia from 2021 to 2023 and the spatial variation of meteorological factors affecting its incidence, providing a scientific basis for prevention, control, and public health resource allocation. **Methods** The de-identified human brucellosis case data from January 1st, 2021 to December 31st, 2023, were collected from the Inner Mongolia Center for Disease Control and Prevention. Descriptive analysis was used to study three distributions of human brucellosis in Inner Mongolia. A mixed local autoregressive geographical weighted regression model analyzed the monthly spatial autocorrelation and heterogeneity of brucellosis. The model's fitting effect was compared with spatial autoregressive, geographical weighted regression, and local autoregressive geographical weighted regression models. **Results** From 2021 to 2023, 56,483 cases of brucellosis in Inner Mongolia, with a peak incidence from March to July. The incidence in males was 53.67 per 100,000, significantly higher than in females ( $\chi^2 = 25.803, P < 0.05$ ). Farmers comprised the largest proportion of cases. The highest incidence occurred in people aged 41 to 60 (43.60 per 100,000). Brucellosis incidence in Inner Mongolia showed a positive spatial correlation, with high-incidence areas mainly in the east and west. The Mixed GWR-LSAR model had the best fit. The effects of wind speed, temperature, pressure, and evaporation varied spatially. **Conclusion** Brucellosis in Inner Mongolia exhibited seasonal, demographic, and spatial patterns, with varying meteorological impacts across months and regions. Therefore, prevention and control strategies should be targeted and regional to effectively reduce the risk.

**Keywords:** Human brucellosis; Meteorological factors; Spatial change characteristics; Local autoregressive mixed geographical weighted regression model

基金项目:国家自然科学基金项目(81860605);内蒙古自然科学基金项目(2023MS01001);内蒙古自治区直属高校基金科研业务费项目(JY20220087)

作者简介:朱新文(1999—),女,硕士在读,研究方向:空间统计推断理论及研究

通信作者:洪志敏, E-mail: zhmhong@imut.edu.cn

布鲁氏菌病(布病)是种由布鲁氏杆菌侵入机体而引起的人畜共患传染病,人类通常因接触患病动物及其分泌物或食用未消毒的乳制品感染,从而出现发热、疲劳、关节炎等症状<sup>[1]</sup>,威胁人类的健康。布病在全球广泛分布,每年确诊病例超 50 万,实际感染人数可能是报告病例的 10 至 25 倍<sup>[2]</sup>。因此,探究布病影响因素并加强防控措施是公共卫生领域的重要工作。

气象因素通过影响农牧业活动、布鲁氏菌和病媒生物的存活等<sup>[3]</sup>,进而影响布病的传播。研究表明气象因素在布病流行中起重要作用。例如,Cao 等<sup>[4]</sup>通过时间序列模型分析发现风速与布病发病率呈正相关,与大气压、平均温度和相对湿度呈负相关。Zhang 等<sup>[5]</sup>通过逐步回归法确定降水量和相对湿度与布病发病率呈负相关。然而,上述方法往往假定研究区域内的回归效应均匀一致,忽略了布病数据的空间自相关性和异质性。已有研究表明布病的发生存在明显的空间分布特征。Sun 等<sup>[6]</sup>证明了布病的发生具有空间自相关性,并通过空间自回归(SAR)模型证明了气温和相对湿度与布病发病率显著相关。Zhang 等<sup>[7]</sup>运用多尺度地理加权回归模型以解决布病发生的空间异质性,并得出气温抑制布病发生的结论。然而,上述研究仅考虑了空间异质性,布病作为传染型疾病,其发生的自相关性是不容忽视的。局部自回归地理加权回归(GWR-LSAR)模型<sup>[8]</sup>结合了 SAR 模型<sup>[9]</sup>与地理加权回归(GWR)模型<sup>[10]</sup>的优点,兼顾了数据的空间自相关性和异质性特征。在 GWR-LSAR 模型中假设所有自变量对因变量的影响均为局部异质的,这导致模型的计算复杂度增加和对全局相关关系解释能力的不足。考虑到布病为人畜共患传染病,且多由动物传染给人类,其传播受一些混杂因素的影响,包括(但不限于)牲畜繁育和畜产品交易高峰等。这些混杂因素对布病发生的影响可视为是全局平稳的。因此,为了消除混杂因素在分析布病与气象因素关系时的不利影响,本文使用更灵活的局部自回归混合地理加权回归(Mixed GWR-LSAR)模型,以定量分析布病发生的空间局部特征。

内蒙古自治区拥有我国最大的草原牧区和重要的畜产品产区,家畜群体密集且人畜接触频繁,布病发病率持续处于较高的水平。据统计,2011 年全区人间布病病例数超 2 万例,2017 和 2018 连续两年布病疫情排全国首位,且仍有上升趋势<sup>[11-12]</sup>。本文旨在分析内蒙古人间布病的流行特征,应用 Mixed GWR-LSAR 模型分析布病发病率受气象因素影响的空间变化模式,并与 SAR 模型、GWR 模型和 GWR-LSAR 模型拟合效果比较,分析结果可作为布病防控和公共卫生资源分配的参考依据。

## 1 资料与方法

**1.1 资料来源** 布病数据来自内蒙古自治区疾病预防控制中心,通过脱敏处理,所获取的数据包括患者的常住地、年龄、性别和职业信息。气象数据来源于 NASA (<https://daac.gsfc.nasa.gov/>),包括月均比湿度(g/kg)、风速(m/s)、降水量(mm)、气温(°C)、气压(kPa)和蒸发量(mm)。布病数据和气象数据的空间维度为内蒙古的 103 个旗县区,时间维度为 2021 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日。人口数据来自对应时间窗口期的《内蒙古统计年鉴》。内蒙古地图底图来源于自然资源部官网(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>),审图号为 GS(2019)1822 号。

**1.2 数据预处理** 为避免因区域人口密度不同造成的布病发病率的计算偏差,文中使用每 10 万人的累积发病率(CI/10 万)来反映布病的发生风险。在计算内蒙古各旗县区布病累积发病率时,由于数据收集偏差,某些区域 CI 值可能为 0,但不代表实际布病发生风险为 0。因此,使用层次贝叶斯模型<sup>[13]</sup>对各旗县区的布病累积发病率进行校正,并通过 R 4.2.0 软件中“R2WinBUGS”包实现此过程。

**1.3 研究方法** 利用 ArcGIS 10.7 软件,以内蒙古旗县区为单位计算全局和局部莫兰指数,分析布病发病率的空间自相关性和聚集模式。建模前,通过方差膨胀因子(VIF)和皮尔逊相关系数检测各气象变量的多重共线性,剔除不符合标准(VIF > 10 或相关系数绝对值 > 0.7)的变量。鉴于布病发生的季节特征,为更好地捕捉布病发病率与气象因素的关系,本文以月为单位建立模型,并引入哑变量以排除混杂因素的干扰。混杂因素包括 3—5 月的牲畜繁育高峰、9—11 月的畜产品交易高峰和新型冠状病毒感染疫情。将混杂因素作为全局平稳的哑变量纳入模型,筛选后的气象因素作为空间变化的自变量,校正后的累积发病率的对数为因变量,构建 Mixed GWR-LSAR 模型<sup>[14]</sup>量化分析内蒙古布病发生的空间自相关性和异质性。模型表达式如下:

$$y_i = \rho(u_i, v_i) \sum_{j=1}^n w_{ij} y_j + x_{vi}^T \beta_v(u_i, v_i) + x_{ci}^T \beta_c + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中  $\sum_{j=1}^n w_{ij} y_j$  为空间滞后项,  $\rho(u_i, v_i)$  为空间自回归系数,  $(u_i, v_i)$  为观测点的位置坐标;  $W = (w_{ij})_{n \times n}$  是空间邻接矩阵,  $w_{ij}$  同 1.2 节所述;  $\beta_v(u_i, v_i) = (\beta_1(u_i, v_i), \beta_2(u_i, v_i), \dots, \beta_q(u_i, v_i))^T$  为第  $i$  个位置的空间变系数,  $\beta_c = (\beta_{q+1}, \beta_{q+2}, \dots, \beta_p)^T$  为常系数;  $x_{vi}^T = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq})$  和  $x_{ci}^T = (x_{i,q+1}, x_{i,q+2}, \dots, x_{ip})$  分别为第  $i$  个位置的空间变系数和常系数的自变

量观测值,  $y_i$  是因变量在指定位置的观测值;  $\varepsilon_i$  为误差项独立同分布于  $N(0, \sigma^2)$ 。采用两阶段最小二乘法<sup>[8]</sup>估计模型(1)中的自回归系数和空间变系数。

模型拟合效果通过校正的赤池信息准则(AICc)和残差平方和(RSS)进行评价,较小的AICc和RSS值表明模型拟合效果较好。系数估计值的统计特征采用最小值、上四分位数( $P_{25}$ )、中位数、下四分位数( $P_{75}$ )和最大值进行描述。

## 2 结果

**2.1 布病的三间分布** 时间分布:2021—2023 年内蒙古人间布病报告病例总数 56 483 例,病例数呈下降趋势,但不显著( $P = 0.296$ )。布病的发生呈现季节特征,每年的 3—7 月为高发期,尤其是 5、6 月,见图 1。人群分布:男性布病发病率为 53.67/10 万,女性为 24.39/10 万,差异显著( $\chi^2 = 25.803, P < 0.05$ )。41~60 岁的中年群体发病率最高为 43.60/10 万,6 岁以下最低为 0.39/10 万。农民是占比最大的群体,见图 2。空间分布:内蒙古布病发病率存在明显的空间差异,高发地集中于东部和西部地区,见图 3。

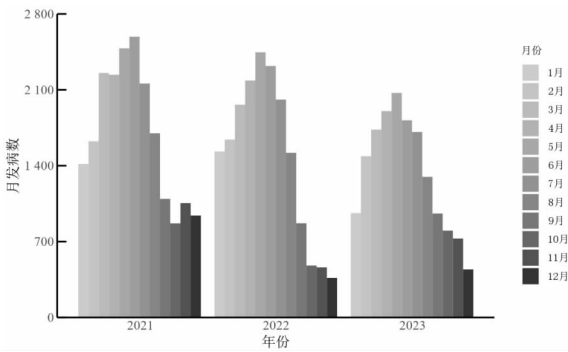


图 1 2021—2023 年内蒙古人间布病报告病例的月度分布  
Fig. 1 Monthly distribution of reported human brucellosis cases in Inner Mongolia from 2021 to 2023

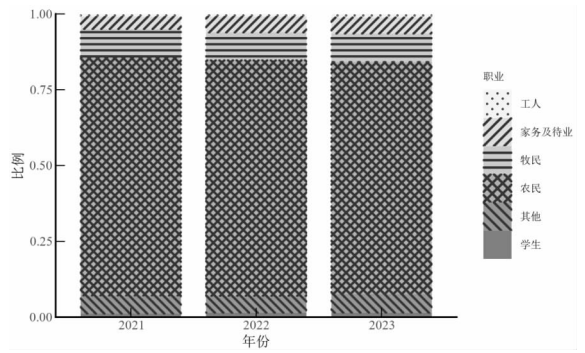


图 2 2021—2023 年内蒙古人间布病报告病例的职业构成  
Fig. 2 Occupational composition of reported human brucellosis cases in Inner Mongolia from 2021 to 2023

**2.2 空间自相关分析** 全局莫兰指数值( $I$ 值)为正数,表明内蒙古布病发病率呈空间正相关,并具有统计学意义( $P < 0.05$ )。局部莫兰指数显示,布病发病率具有明显的空间聚集特征,主要为西部和东部的“高-高”聚集模式。见表 1。

**2.3 多重共线性诊断** 月均比湿度的 VIF 值为 13.508,月均降水量与月均气压和蒸发量的相关系数介于 0.707 至 0.849。因此,文中剔除月均比湿度和降水量,最终选择月均气温、气压、风速和蒸发量作为影响布病发病率的气象因素进行建模。

**2.4 模型拟合结果对比** SAR 模型、GWR 模型和 GWR-LSAR 模型的 RSS 和 AICc 值均高于 Mixed GWR-LSAR 模型,见表 2。这表明 Mixed GWR-LSAR 模型的拟合效果最佳,故本文将基于该模型系数估计结果进行具体分析。

**2.5 Mixed GWR-LSAR 模型系数估计及可视化分析** 各系数估计值的范围涵盖了正数和负数,呈现了较明显的波动,见表 3。内蒙古布病发病率大多受邻近区域的正向影响,与空间自相关分析结果一致。风速对中部和西部地区的布病发病率呈较强的促进作用,而抑制作用主要集中于东部。气温大多抑制布病

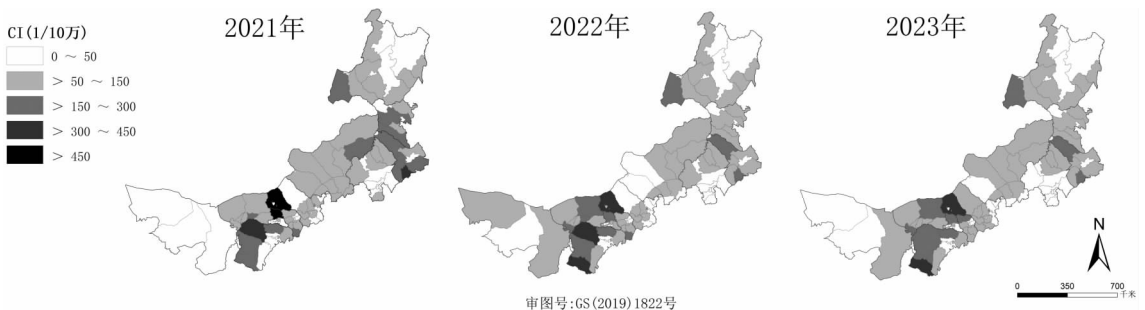


图 3 2021—2023 年内蒙古人间布病的年累积发病率(CI)空间分布(标准地图审图号:GS(2019)1822 号)  
Fig. 3 Annual CI spatial distribution of human brucellosis in Inner Mongolia from 2021 to 2023 (Standard Map Review: No. GS(2019)1822)

表 1 2021—2023 年内蒙古人间布病发病率的空自相关分析结果

Table 1 Results of spatial autocorrelation of human brucellosis incidence in Inner Mongolia from 2021 to 2023

年份	I 值	Z 值	P 值	“高-高”聚集地区所属盟市(个数)
2021	0.215	3.281	0.001	巴彦淖尔市(5)、通辽市(5)、赤峰市(2)、兴安盟(2)、锡林郭勒盟(2)
2022	0.178	2.805	0.005	巴彦淖尔市(6)、鄂尔多斯市(2)、通辽市(1)、锡林郭勒盟(1)、赤峰市(1)
2023	0.166	2.622	0.008	巴彦淖尔市(6)、鄂尔多斯市(2)、乌兰察布市(1)、赤峰市(1)

注:I 值、Z 值和 P 值为全局莫兰指数结果,“高-高”聚集地区所属盟市(个数)为局部莫兰指数结果。

表 2 四种模型的诊断信息

Table 2 Diagnostic information of four models

模型	SAR		GWR		GWR-LSAR		Mixed GWR-LSAR	
	RSS	AICc	RSS	AICc	RSS	AICc	RSS	AICc
1 月	206.8	831.6	199.9	813.3	162.1	792.8	93.6	746.3
2 月	206.1	837.5	175.5	796	145.6	784.2	101.8	774.8
3 月	188.3	815.3	$6.7 \times 10^5$	$3.3 \times 10^3$	$1.2 \times 10^5$	$2.8 \times 10^3$	75.4	675.5
4 月	196.2	825.8	$2.4 \times 10^8$	$4.0 \times 10^3$	$7.6 \times 10^3$	$2.0 \times 10^3$	97.3	729.9
5 月	210.4	847.7	$8.6 \times 10^5$	$3.4 \times 10^3$	$2.7 \times 10^4$	$2.4 \times 10^3$	81.6	781.8
6 月	188.4	815.5	158.4	775.2	144.3	782.7	86.6	721.6
7 月	181.3	817.4	141	798.7	104.6	778.4	101.1	756.3
8 月	153.6	761.5	109.3	726.7	70.1	702.8	77.9	688.5
9 月	191.3	822.3	$4.0 \times 10^4$	$2.5 \times 10^3$	$1.3 \times 10^4$	$2.2 \times 10^3$	91.9	734.8
10 月	249.7	883.2	$6.2 \times 10^4$	$2.6 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$	$1.4 \times 10^3$	124.7	810.4
11 月	247.5	867.8	$5.2 \times 10^6$	$3.5 \times 10^3$	$5.1 \times 10^5$	$2.2 \times 10^3$	119.5	794.3
12 月	332.2	959.9	163.6	870.8	136.1	870.1	129.2	872.4

发病率,但在初冬(12月),全区气温起促进作用。气压对西部的布病发病率有较强的正面影响,负面影响出现在东部部分地区。在4月和深秋,蒸发量与全区布病发病率呈正相关。其他时间,蒸发量的积极影响集中于西部,消极影响集中于东部。见图4~8。

表 3 Mixed GWR-LSAR 模型系数估计范围

Table 3 Estimated range of coefficients of Mixed GWR-LSAR model

系数	最小值	$P_{25}$	中位数	$P_{75}$	最大值
空间自回归系数	-0.990	0.256	0.699	0.890	0.990
月均风速	-1.849	0.011	0.434	0.868	3.235
月均气温	-1.780	-0.136	0.017	0.238	1.579
月均气压	-1.248	-0.133	0.053	0.234	1.563
月均蒸发量	-14.733	-0.422	0.385	1.353	31.575

### 3 讨论

2021—2023年,内蒙古布病病例数逐年下降,可见内蒙古采取的布病防控措施取得了一定成效。尽管病例数有所减少,但从整体看下降趋势并不显著。因此防疫工作仍需持续加强,防控措施仍需不断完善。内蒙古布病高发期在3—7月,此时正值动物繁殖高峰期,同时是畜牧活动频繁的时期,如剪羊毛、接生畜禽等<sup>[15-16]</sup>。布病患者多为男性、农民和41至61岁人群。此年龄段的人们在农牧工作中作用关键,且男性更多地从事屠宰、肉类加工和放牧等工作,进而

增加其感染风险<sup>[11,17]</sup>。建议根据季节和人群特点,加强高风险群体的布病预防教育和防护举措宣传。

内蒙古布病发病率存在空间正相关性,即周边地区发病率较高时,当地发病率也倾向较高。这种空间溢出效应可能与贸易往来有关。若运输过程中未能有效管理,染病牲畜及其产品可能将病原体带入其它地区,导致布病扩散。因此,各地应加强检疫措施,严格控制牲畜及其产品流通,并加强区域间的信息共享和协作,以便及时发现和控制疾病的传播。

在逐月分析布病发病率与气象因素关系时,

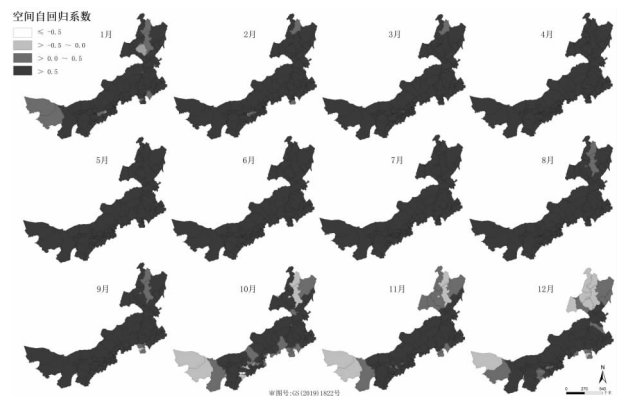


图 4 各月空间自回归系数估计值的空间分布(标准地图审图号:GS(2019)1822号)

Fig. 4 Spatial distribution of monthly spatial autoregressive estimated coefficients (Standard Map Review: No. GS (2019)1822)

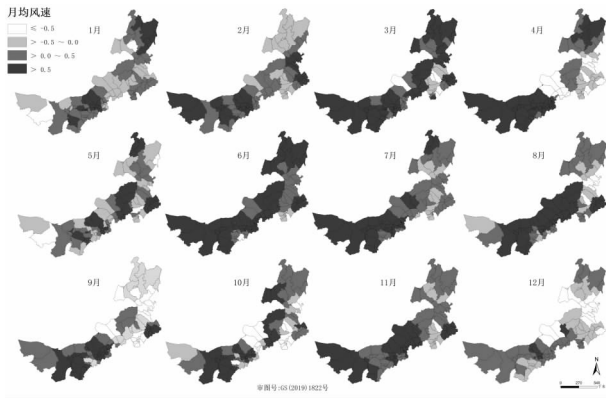


图 5 各月月均风速估计系数的空间分布(标准地图审图号:GS(2019)1822 号)

Fig. 5 Spatial distribution of monthly mean wind speed estimated coefficients(Standard Map Review: No. GS(2019)1822)

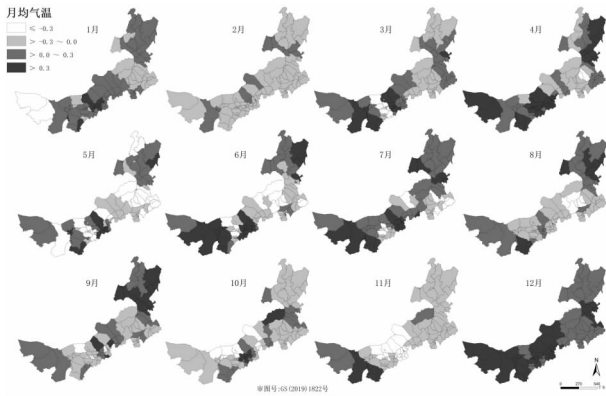


图 6 各月月均气温系数的空间分布(标准地图审图号:GS(2019)1822 号)

Fig. 6 Spatial distribution of monthly mean temperature estimated coefficients(Standard Map Review: No. GS(2019)1822)

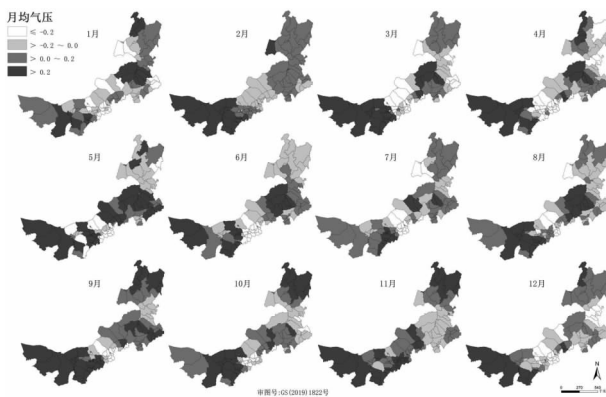


图 7 各月月均气压估计系数的空间分布(标准地图审图号:GS(2019)1822 号)

Fig. 7 Spatial distribution of monthly mean pressure estimated coefficients(Standard Map Review: No. GS(2019)1822)

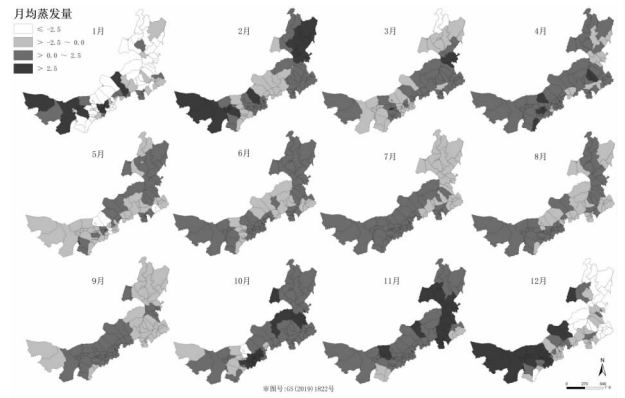


图 8 各月月均蒸发量估计系数的空间分布(标准地图审图号:GS(2019)1822 号)

Fig. 8 Spatial distribution of monthly mean evaporation estimated coefficients(Standard Map Review: No. GS(2019)1822)

Mixed GWR - LSAR 模型的拟合效果优于 SAR 模型、GWR 模型和 GWR - LSAR 模型。该模型不仅能同时处理空间自相关性和异质性,还能综合考虑全局和局部的影响,从而更准确地捕捉布病发病率与气象因素关系的空间分布特征。基于该模型结果,发现风速在内蒙古中部和西部与布病发生呈正向影响,与先前研究一致<sup>[5]</sup>。而在东部则起抑制作用。这可能与内蒙古西高东低的风速分布形式有关,在东部低风速地区,风速增加有助于分散局部悬浮积累的布病气溶胶,降低其浓度<sup>[18-19]</sup>,进而降低人与牲畜的感染概率。因此,建议定期监测空气中布鲁氏菌气溶胶浓度,确保良好的空气流通,以降低布病传播风险。有研究表明气温抑制布病的发生<sup>[20]</sup>。本研究发现,初冬期间,全区气温对布病发病率呈正面影响。可能是由于内蒙古初冬气温波动较大,这不仅会改变牲畜的繁育时间,增加人与牲畜的接触机会,还会影响病原体的中间媒介和宿主复制的速度<sup>[16,21]</sup>。特别是气温升高时,一些在低温环境下不活跃的病原体变得活跃<sup>[22]</sup>,从而增加感染风险。气压对发病率的影响因地而异,其中西部地区的气压变化对发病率的影响效应较强。这或许与地理位置相关,内蒙古西部位于青藏高原东侧,青藏高原作为气象变化的敏感区,通过大气环流影响周边的气压变化<sup>[23]</sup>。目前气压对布病发生的作用机制尚未明确,但其会通过影响空气传播条件改变病原体的释放和运输,进而影响大气中布鲁氏菌的浓度<sup>[24]</sup>。蒸发量的促进作用在空间上主要集中于西部,时间上集中于四月和秋季。内蒙古西部拥有大片沙漠,水分含量低,相比东部更为干燥。病原体在干燥的空气中会因蒸发而缩小,从而增加它们在空气中的稳定性和存活时间<sup>[25]</sup>。在四月和秋季内蒙古的气候较为干燥,其中四月是沙尘天气频发时期。

温度适宜、干燥且高蒸发量为布鲁氏菌的生存和传播创造了适宜环境<sup>[26]</sup>。此外,布病可通过黏膜和呼吸道传播。干燥的环境会损害鼻腔黏膜和呼吸道<sup>[27-28]</sup>,进而增加布鲁氏菌侵入机体的机率。因此,建议居民采取措施保持适宜的空气湿度,如使用加湿器,以降低布病的感染风险。

综上,2021—2023 年内蒙古布病病例数逐年减少且呈季节性规律,男性、农民和中年人应为布病预防的重点对象。月均风速、气温、气压和蒸发量对布病发病率的影响存在空间差异,且差异随月份而变化。因此,应采取有针对性且分区域实施的防控策略,以降低内蒙古的布病发生风险。据了解,本文是首次采用局部自回归混合地理加权回归模型研究布病发病率和气象因素的关系,相较于传统的空间自回归模型和地理加权回归模型展现出更优的效果,为布病及其他对气候敏感性传染病的研究提供了新思路。

**利益冲突声明** 本研究不存在任何利益冲突

#### 参考文献

- [1] Franc KA, Krecek RC, Häslér BN, et al. Brucellosis remains a neglected disease in the developing world: a call for interdisciplinary action[J]. BMC Public Health, 2018, 18(1): 125.
- [2] Samadi A, Amiri M, Hailat N. The reasons behind Long - Term endemicity of brucellosis in low and middle - income countries: challenges and future perspectives [J]. Current Microbiology, 2024, 81(3): 82.
- [3] Pinto J, Bonacic C, Hamilton - West C, et al. Climate change and animal diseases in South America [J]. Revue Scientifique et Technique, 2008, 27(2): 599 - 613.
- [4] Cao LT, Liu HH, Li J, et al. Relationship of meteorological factors and human brucellosis in Hebei province, China [J]. Science of the Total Environment, 2020, 703: 135491.
- [5] Zhang ZZ, Ma X, Zhang YX, et al. Identifying critical driving factors for human brucellosis in Inner Mongolia, China [J]. Physica a: Statistical Mechanics and Its Applications, 2023, 626: 129073.
- [6] Sun ZX, Wang Y, Li YJ, et al. Socioeconomic, meteorological factors and spatiotemporal distribution of human brucellosis in China between 2004 and 2019 - A study based on spatial panel model [J]. PLoS Neglected Tropical Diseases, 2023, 17(11): e0011765.
- [7] Zhang M, Chen XR, Bu QQ, et al. Spatiotemporal dynamics and influencing factors of human brucellosis in Mainland China from 2005 - 2021 [J]. BMC Infectious Diseases, 2024, 24(1): 76.
- [8] Mei CL, Chen F. Detection of spatial heterogeneity based on spatial autoregressive varying coefficient models [J]. Spatial Statistics, 2022, 51: 100666.
- [9] Cliff AD, Ord JK. Spatial processes: models and applications [M]. London: Pion Limited, 1981.
- [10] Brunsdon C, Fotheringham AS, Charlton ME. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity [J]. Geographical Analysis, 1996, 28(4): 281 - 298.
- [11] 梁晗玮,塔娜,米景川,等. 2009—2018 年内蒙古自治区人间布鲁氏菌病流行时空分布特征[J]. 疾病监测, 2019, 34(12): 1058 - 1063.  
Liang HW, Ta N, Mi JC, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of human brucellosis epidemics in Inner Mongolia Autonomous Region from 2009 to 2018 [J]. Disease Surveillance, 2019, 34(12): 1058 - 1063. (In Chinese)
- [12] 宋健,韩松,王虎虎,等. 2018—2022 年内蒙古自治区人间布鲁氏菌病时空聚集性分析[J]. 中国人兽共患病学报, 2023, 39(10): 993 - 997.  
Song J, Han S, Wang HH, et al. Spatiotemporal clustering analysis of human brucellosis in the Inner Mongolia Autonomous Region, 2018 - 2022 [J]. Chinese Journal of Zoonoses, 2023, 39(10): 993 - 997. (In Chinese)
- [13] Haining R. Spatial data analysis: theory and practice [J]. London: Cambridge University Press, 2003.
- [14] Geniaux G, Martinetti D. A new method for dealing simultaneously with spatial autocorrelation and spatial heterogeneity in regression models [J]. Regional Science and Urban Economics, 2018, 72: 74 - 85.
- [15] Liang DY, Liu D, Yang M, et al. Spatiotemporal distribution of human brucellosis in Inner Mongolia, China, in 2010 - 2015, and influencing factors [J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 24213.
- [16] Liu K, Yang ZR, Liang WF, et al. Effect of climatic factors on the seasonal fluctuation of human brucellosis in Yulin, northern China [J]. BMC Public Health, 2020, 20(1): 506.
- [17] 包智明,石腾飞. 牧区城镇化与草原生态治理 [J]. 中国社会科学, 2020, (3): 146 - 162.  
Bao ZM, Shi TF. Urbanization in pastoral areas and grassland ecological management [J]. Social Sciences in China, 2020, (3): 146 - 162. (In Chinese)
- [18] 方晓红,程文博. 内蒙古 1991—2020 年风速变化及其人为影响因素 [J]. 灾害学, 2024, 39(2): 67 - 72.  
Fang XH, Cheng WB. Changes and its human factors of wind speed in Inner Mongolia from 1991 to 2020 [J]. Journal of Catastrophology, 2024, 39(2): 67 - 72. (In Chinese)
- [19] 刘婷,黄兴友,高庆先,等. 不同气象条件下的气溶胶时空分布特征 [J]. 环境科学研究, 2013, 26(2): 122 - 128.  
Liu T, Huang XY, Gao QX, et al. Space and spatial distribution characteristics of aerosols under different meteorological conditions [J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(2): 122 - 128. (In Chinese)
- [20] Zhao CX, Nie SM, Sun YX, et al. Detrended seasonal relationships and impact of climatic factors combined with spatiotemporal effect on the prevalence of human brucellosis [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2023, 30(47): 104043 - 104055.
- [21] Ostfeld RS. Climate change and the distribution and intensity of infectious diseases [J]. Ecology, 2009, 90(4): 903 - 905.
- [22] Harvell CD, Mitchell CE, Ward JR, et al. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota [J]. Science, 2002, 296(5576): 2158 - 2162.
- [23] 李静,何清,姚俊强,等. 内蒙古西部地区气候变化特征及影响因素分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(5): 186 - 191.

- 人肌肉质量和肌肉力量以及身体功能影响的 Meta 分析[J]. 中国全科医学, 2023, 26(23): 2854 - 2863.
- Guo YN, Miao XY, Jiang XM, et al. Effects of protein supplementation on muscle mass, strength, and physical function in frail/prefrail older adults: a meta-analysis[J]. Chinese General Practice, 2023, 26(23): 2854 - 2863. (In Chinese)
- [8] Gobbens RJJ, Van assen MALM. The prediction of quality of Life by physical, psychological and social components of frailty in community-dwelling older people[J]. Quality of Life Research, 2014, 23(8): 2289 - 2300.
- [9] Buysse DJ, Reynolds CF3, Monk TH, et al. The Pittsburgh sleep quality index: a new instrument for psychiatric practice and research[J]. Psychiatry Research, 1989, 28(2): 193 - 213.
- [10] Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, et al. A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission[J]. Journal of Gerontology, 1994, 49(2): M85 - M94.
- [11] Rubenstein LZ, Harker JO, Salvà A, et al. Screening for undernutrition in geriatric practice: developing the short-form mini-nutritional assessment (MNA-SF) [J]. The Journals of Gerontology. Series a, Biological Sciences and Medical Sciences, 2001, 56(6): M366 - M372.
- [12] 王坤, 陈长香, 李淑杏. 衰弱综合评估工具的汉化及信效度检验[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(1): 72 - 76.
- Wang K, Chen CX, Li SX. Reliability and validity of Chinese version of comprehensive frailty assessment instrument[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2017, 23(1): 72 - 76. (In Chinese)
- [13] DeWitte N, Gobbens R, De donder L, et al. The comprehensive frailty assessment instrument: Development, validity and reliability [J]. Geriatric Nursing, 2013, 34(4): 274 - 281.
- [14] Morley JE, Malmstrom TK, Miller DK. A simple frailty questionnaire (FRAIL) predicts outcomes in middle aged African Americans[J]. Journal of Nutrition Health & Aging, 2012, 16(7): 601 - 608.
- [15] 田鹏, 杨宁, 郝秋奎, 等. 中国老年衰弱患病率的系统评价[J]. 中国循证医学杂志, 2019, 19(6): 656 - 664.
- Tian P, Yang N, Hao QK, et al. Systematic evaluation of the geriatric prevalence of frailty in China [J]. Chinese Journal of Evidence - Based Medicine, 2019, 19(6): 656 - 664. (In Chinese)
- [16] 张梦洁, 郑晓, 廖雁鸣, 等. 老年人社会网络对多重慢病的作用路径分析: 体力活动和睡眠质量的中介作用研究[J]. 中国全科医学, 2024, 27(17): 2130 - 2137.
- Zhang MJ, Zheng X, Liao YM, et al. Path study of social networks in the older adults on multimorbidity: the mediating effects of physical activity and sleep [J]. Chinese General Practice, 2024, 27(17): 2130 - 2137. (In Chinese)
- [17] Wang XR, Hu JJ, Wu DP. Risk factors for frailty in older adults [J]. Medicine, 2022, 101(34): e30169.
- [18] Wen Q, Yan X, Ren Z, et al. Association between insomnia and frailty in older population: A meta-analytic evaluation of the observational studies [J]. Brain and Behavior, 2023, 13(1): e2793.
- [19] 汪晨晨, 谢晖, 魏娇娇, 等. 抑郁情绪在社区老年人睡眠障碍和衰弱之间的中介作用[J]. 国际老年医学杂志, 2022, 43(2): 136 - 140.
- Wang CC, Xie H, Wei JJ, et al. The mediating role of depressed mood in the relationship between sleep disorders and frailty in community-dwelling older people [J]. International Journal of Geriatrics, 2022, 43(2): 136 - 140. (In Chinese)
- [20] Denison HJ, Jameson KA, Sayer AA, et al. Poor sleep quality and physical performance in older adults [J]. Sleep Health, 2021, 7(2): 205 - 211.
- [21] Buchmann N, Spira D, Norman K, et al. Sleep, muscle mass and muscle function in older people [J]. Deutsches Arzteblatt International, 2016, 113(15): 253 - 260.
- [22] 刘震超, 王妍之, 刘光, 等. 肌少症与睡眠障碍关系研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2024, 30(3): 396 - 400.
- Liu ZC, Wang YZ, Liu G, et al. Advances in research on the relationship between sarcopenia and sleep disorders [J]. Chinese Journal of Osteoporosis, 2024, 30(3): 396 - 400. (In Chinese)

收稿日期: 2024-07-23

## (上接第 4428 页)

- Li J, He Q, Yao JQ, et al. The characteristics of climate change and the impact factors analysis in the western part of Inner Mongolia [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(5): 186 - 191. (In Chinese)
- [24] Lu JY, Chen ZQ, Liu YH, et al. Effect of meteorological factors on scarlet fever incidence in Guangzhou City, Southern China, 2006 - 2017 [J]. Science of the Total Environment, 2019, 663: 227 - 235.
- [25] Asadi SM, Wexler AS, Cappa CD, et al. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 2348.
- [26] 杨祖荣, 李雪, 邵中军, 等. 山西省大同市 2005—2015 年人间布鲁氏菌病时空分布特征与气象因素驱动效应研究[J]. 中华流行病学杂志, 2018, 39(9): 1165 - 1171.
- Yang ZR, Li X, Shao ZJ, et al. Characteristics on spatial and temporal distribution as well as the driving effect of meteorological factors on brucellosis in Datong city, Shanxi province, 2005 - 2015 [J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2018, 39(9): 1165 - 1171. (In Chinese)
- [27] 屈丹, 王高帅, 李鹏. 湿度对医院感染发生风险的关联分析[J]. 医药论坛杂志, 2023, 44(19): 63 - 69, 74.
- Qu D, Wang GS, Li P. Impacts of humidity on hospital acquired infection: a time-series study [J]. Journal of Medical Forum, 2023, 44(19): 63 - 69, 74. (In Chinese)
- [28] Liener K, Leiacker R, Lindemann J, et al. Nasal mucosal temperature after exposure to cold, dry air and hot, humid air [J]. Acta Oto-Laryngologica, 2003, 123(7): 851 - 856.

收稿日期: 2024-08-09