·疾病预防控制·

2016—2025 年呼伦贝尔市蒙古旱獭鼠疫疫源地宿主和媒介蚤类的时间变化趋势及与气象因素的相关性

沃晓辉，边博浩，王战涛
呼伦贝尔市疾病预防控制中心，内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘要：目的　分析 2016—2025 年呼伦贝尔市动物鼠疫流行时间变化趋势，探讨气候因素变化对鼠疫宿主及媒介蚤类的影响，为建立呼伦贝尔市鼠疫早期监测预警机制提供科学依据。**方法**　收集 2016—2025 年呼伦贝尔市动物鼠疫监测数据，使用 Joinpoint 5.4.0 软件对主要宿主密度、夜行鼠捕获率、鼠体染蚤率及蚤指数进行时间趋势分析，并计算年度变化百分比（annual percent change，APC）和平均年度变化百分比（average annual percent change，AAPC），描述不同宿主及媒介蚤类的时间变化趋势；收集 2016—2025 年平均降水总量、平均日照时数、平均气温、平均相对湿度、平均风速等气象因素，结合动物鼠疫监测数据，使用 Spearman 相关分析筛选出影响宿主及媒介蚤类的关键气象因素，利用 Holm 法校正多重比较的 P 值，通过偏相关分析控制气象因素以验证结果的稳健性。**结果**　2016—2025 年共捕获 793 只达乌尔黄鼠，平均鼠密度为 0.24 只 /hm^2，蒙古旱獭平均鼠密度为 0.10 只 /hm^2，两种主要宿主年度变化趋势均无统计学意义；野外夜行鼠平均捕获率为 1.38%，在 2016—2020 年呈上升趋势（APC=29.608%，P=0.030），在 2020—2025 年呈下降趋势（APC=−10.360%，P=0.035），布氏田鼠为野外夜行鼠的优势鼠种；鼠体媒介平均染蚤率和蚤指数分别为 17.96%和 0.61，变化趋势均无统计学意义；洞干媒介平均染蚤率为 0.43%，平均蚤指数为 0.02，方形黄鼠蚤为优势蚤种。Spearman 相关分析发现平均降水量（r_s=0.66，P=0.038）、平均相对湿度（r_s=0.75，P=0.013）与夜行鼠捕获率呈显著正相关；平均日照时数、平均气温、平均风速分别与鼠体染蚤率（r_s=−0.78，P=0.008）、达乌尔黄鼠密度（r_s=−0.71，P=0.021）以及洞干蚤染蚤率（r_s=−0.73，P=0.016）呈显著负相关。经 Holm 法校正多重比较的 P 值显示上述关联均无显著性，偏相关分析发现平均日照时数与蒙古旱獭密度（r_s=−0.95，P=0.004）呈显著负相关。**结论**　2016—2025 年呼伦贝尔市鼠疫流行趋势较为稳定，气象因素变化对鼠疫宿主及媒介存在一定的影响，但关联的可靠性不足，平均日照时数为影响蒙古旱獭密度的独立危险因素，在后续的鼠疫监测中应多加关注。

关键词：鼠疫；流行趋势；气象；影响因素
中图分类号：R384.3；R378.6　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1003-8507（2026）19-3607-07
DOI：10.20043/j.cnki.MPM.202606286

Temporal trends of hosts and vector fleas in the Marmota plague natural foci of Hulunbuir City from 2016 to 2025 and their correlation with meteorological factors

WO Xiao-hui, BIAN Bo-hao, WANG Zhan-tao
Hulunbuir Center for Disease Control and Prevention, Hulunbuir, Inner Mongolia 021000, China

Abstract: Objective To analyze the temporal trends of animal plague epizootics in Hulunbuir City from 2016 to 2025, explore the impact of meteorological factors on plague hosts and vector fleas, and provide a scientific basis for establishing an early monitoring and early warning mechanism for plague in Hulunbuir City. **Methods** Animal plague surveillance data from Hulunbuir City during 2016—2025 were collected, and Joinpoint 5.4.0 software was employed to analyze temporal trends in primary host density, nocturnal rodent capture rate, body flea infestation rate, and flea index, calculating the annual percent change (APC) and average annual percent change (AAPC) to describe the temporal variations among different hosts and vector fleas. Meteorological factors (mean total precipitation, mean sunshine duration, mean temperature, mean relative humidity, and mean wind speed) over the same period were gathered and combined with the animal plague surveillance data. Spearman correlation analysis was performed to identify key meteorological factors affecting hosts and fleas, with P values adjusted by the Holm method for multiple comparisons, and partial correlation analysis was further applied to control for these meteorological factors to test the robustness of the results. **Results** A total of 793 Spermophilus dauricus individuals were captured

作者简介：沃晓辉（1971—），男，本科，主任医师，研究方向：流行病与卫生统计学
通信作者：王战涛，E-mail：736426899@qq.com

from 2016 to 2025, with a mean density of 0.24 individuals/hm^2. The mean density of Marmota was 0.10 individuals/hm^2, and the annual trends for both primary host species were not statistically significant. The mean capture rate of field nocturnal rodents was 1.38%, which showed an increasing trend from 2016 to 2020 (APC=29.608%, P=0.030) followed by a decreasing trend from 2020 to 2025 (APC=−10.360%, P=0.035). Lasiopodomys brandtii was the dominant species among nocturnal rodents. The mean flea infestation rate and flea index on rodent bodies were 17.96% and 0.61, respectively, with no significant temporal trends. For burrow fleas, the mean infestation rate was 0.43% and the mean flea index was 0.02, with Citellophilus tesquorum being the dominant species. Spearman correlation analysis revealed that mean precipitation (r_s=0.66, P=0.038) and mean relative humidity (r_s=0.75, P=0.013) were significantly positively correlated with the nocturnal rodent capture rate. Mean sunshine duration, mean temperature, and mean wind speed were significantly negatively correlated with body flea infestation rate (r_s=−0.78, P=0.008), Spermophilus dauricus density (r_s=−0.71, P=0.021), and burrow flea infestation rate (r_s=−0.73, P=0.016), respectively. However, the P values adjusted for multiple comparisons using the Holm method showed that none of these associations remained significant. Partial correlation analysis further revealed a significant negative correlation between mean sunshine duration and Marmota density (r_s=−0.95, P=0.004). **Conclusion** The overall plague epidemic trend in Hulunbuir City during 2016—2025 remained relatively stable. Meteorological factors exerted certain effects on plague hosts and vectors, although the reliability of these associations was insufficient. Mean sunshine duration emerged as an independent risk factor influencing marmot density, and thus warrants greater attention in future plague surveillance.

Keywords: Plague; Epidemic trends; Meteorology; Influencing factors

鼠疫是一种由鼠疫耶尔森菌引起，以啮齿动物为主要宿主，跳蚤为主要传播媒介的人畜共患病[1]。鼠疫具有发病急、高传染性、高死亡率等特点，如果不及时治疗，腺鼠疫可导致 40%～60%的死亡率，而肺鼠疫和败血型鼠疫往往更高[2]。近年来，气候因素已经被确定为影响鼠疫传播的外部驱动因素之一[3]。许多研究表明，气候变化与啮齿动物及其媒介蚤类种群结构的变化具有显著的相关性，如气温升高会导致感染鼠疫菌的沙鼠数量显著升高[4]；降雨量的减少会使啮齿动物的鼠密度和蚤指数显著提升[5]。

呼伦贝尔蒙古旱獭鼠疫自然疫源地作为我国 12 个鼠疫自然疫源地之一，生态结构较为稳定，人为活动的痕迹较少，鼠疫的传播可能更容易受到气候变化的影响[6]。本研究对 2016—2025 年呼伦贝尔市鼠疫监测数据进行分析，探究动物间鼠疫的时间变化趋势，并结合气象数据分析其与宿主及媒介种群变化的相关性，旨在为建立呼伦贝尔市鼠疫监测预警体系提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　鼠疫监测数据　2016—2025 年鼠疫监测数据来源于呼伦贝尔市疾病预防控制中心的鼠疫年度监测总结及各鼠疫监测旗（市、区）上报的监测数据汇总。

1.1.1　宿主动物监测　按照不同地貌、植被和主要宿主动物数量等指标划分栖息地，按不同栖息地面积的 0.50%进行分层抽样，使用路线法对蒙古旱獭的鼠密度进行调查：以单公顷（hm^2）样方为单位，使用样方法调查达乌尔黄鼠的鼠密度；采用 5 m 夹线法，每日夜晚布夹，次日早晨取夹，统计夜行鼠的数量和构成，并计算捕获率；其他宿主动物使用逐日捕鼠法进行调查。

1.1.2　媒介蚤类监测　使用疏检法，将样方法、逐日捕鼠法、5 m 夹线法和收集自毙动物法等捕获的鼠类单独装袋，经乙醚麻醉后疏检鼠体蚤，依据《中国动物志(昆虫纲,蚤目)》（第二版）[7]中的检索表及插图并结合相关文献[8]，在显微镜下观察，获取鼠体媒介的数量和构成；使用探蚤棒深入鼠洞，获取洞干媒介的数量和构成。

1.2　气象数据获取及筛选　本研究的气象数据来源于镜像地球气象大数据平台（https://www.mirror-earth.com/platform），选取 2016—2025 年呼伦贝尔市鼠疫监测旗（市、区）的月度气象数据，并整理成呼伦贝尔市年均降水总量、年均日照时数、年平均气温、年均相对湿度、年均风速等五个气象要素。

1.3　数据整理与分析　使用 Excel 2020 软件对鼠疫监测数据和气象数据进行录入和整理。使用 Joinpoint 5.4.0 软件对主要宿主密度、夜行鼠捕获率、鼠体染蚤率及蚤指数进行时间趋势分析，计算年度变化百分比（annual percent change,APC）和平均年度变化百分比（average annual percent change,AAPC）。阶段性 APC＞0 表示呈现升高趋势；阶段性 APC＜0 表示呈现下降趋势；当回归模型无拐点时，APC=AAPC。使用 R 4.5.2 软件处理数据，对鼠疫监测数据与气象要素进行 Spearman 相关性分析，并利用 Holm 法校正多重比较的 P 值，进一步通过偏相关分析控制混杂因素以验证结果的稳健性。使用 ggcor 及 ggplot2 包绘制相关折线图、堆积柱状图和相关性热图。检验水准 α=0.05。

2　结　果

2.1　主要宿主动物密度监测结果　2016—2025 年通过样方法共调查 3 360 hm²，捕获 793 只达乌尔黄鼠，年平均鼠密度为 0.24 只 /hm²。2021 年鼠密度最高，为 0.37 只 /hm²；2024 年最低，为 0.16 只 /hm²。2016—2025 年达乌尔黄鼠密度变化趋势无统计学意义（AAPC=−1.497%，*P*=0.664）。2016—2025 年通过路线法共调查 16 823.8 hm²，见獭 1 619 只，年平均鼠密度为 0.10 只 /hm²。蒙古旱獭密度在 2019 年达到最高，为 0.16 只 /hm²；2022 和 2024 年最低，为 0.05 只 /hm²。2016—2025 年蒙古旱獭鼠密度变化趋势无统计学意义（AAPC=−3.164%，*P*=0.637）。见图 1。

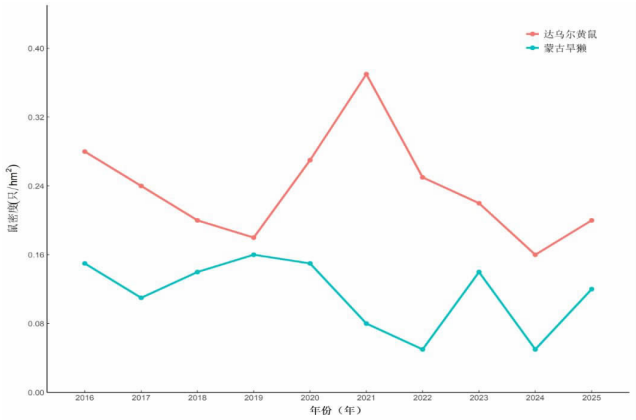


图 1　呼伦贝尔市 2016—2025 年主要宿主动物密度监测结果

Figure 1　Density surveillance results of primary host animals in Hulunbuir City, 2016—2025

2.2　野外夜行鼠监测结果　2016—2025 年通过 5 m 夹线法共布夹 73 645 盘，捕获各类夜行鼠 1 013 只，年平均捕获率为 1.38%，2021 年捕获夜行鼠最多，为 172 只；2016 年捕获数量最少，为 39 只。2020 年捕获率最高，为 2.08%；2016 年捕获率最低，为 0.68%。夜行鼠捕获率 2016—2025 年整体变化趋势无统计学意义（AAPC=5.602%，*P*=0.214），但在 2016—2020 年呈现上升趋势（APC=29.608%，*P*=0.030），在 2020—2025 年呈现下降趋势（APC=−10.360%，*P*=0.035）。见表 1。

2016—2025 年共捕获了野外夜行鼠 12 种，分别为布氏田鼠、达乌尔黄鼠、达乌尔鼠兔、大林姬鼠、褐家鼠、黑线仓鼠、黑线姬鼠、黑线毛足鼠、三趾跳鼠、五趾跳鼠、小家鼠和长爪沙鼠。捕获数量最多的为布氏田鼠（28.63%）；捕获数量最少的为三趾跳鼠，仅在 2022 年捕获 1 只，其余年份均未捕获。见图 2。

表 1　呼伦贝尔市 2016—2025 年野外夜行鼠监测结果

Table 1　Surveillance results of nocturnal rodents in Hulunbuir City, 2016—2025

年份（年）	布夹数（盘）	捕获数量（只）	捕获率（%）
2016	5 700	39	0.68
2017	5 950	57	0.96
2018	5 773	76	1.32
2019	5 700	65	1.14
2020	6 000	125	2.08
2021	9 119	172	1.89
2022	9 671	162	1.68
2023	8 732	108	1.24
2024	8 600	101	1.17
2025	8 400	108	1.29
合计	73 645	1 013	1.38

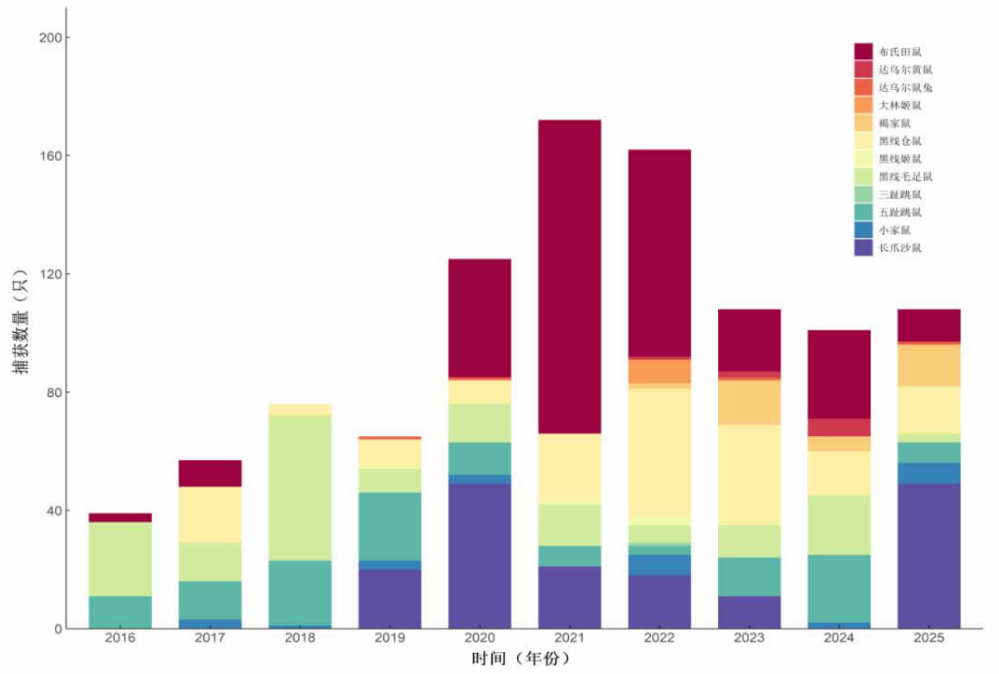


图 2　呼伦贝尔市 2016—2025 年野外夜行鼠构成

Figure 2　Composition of field nocturnal rodents in Hulunbuir City, 2016—2025

2.3　鼠体媒介监测结果　2016—2025 年共检鼠 9 277 只，染蚤鼠 1 666 只，获蚤 5 681 匹，平均染蚤率为 17.96%，平均蚤指数为 0.61。2021 年发现的染蚤鼠最多，获蚤数也最多，鼠体染蚤率为 23.63%，蚤指数为 1.03；2022 年，鼠体染蚤率降至最低，仅为 13%；蚤指数在 2017 年达到最低，仅为 0.37。鼠体染蚤率和蚤指数在 2016—2025 年整体变化趋势无统计学意义，AAPC=−2.628%（P=0.277）、−1.245%（P=0.770）。见表 2。

表 2　呼伦贝尔市 2016—2025 年鼠体媒介监测结果

Table 2　Vector surveillance results on rodents in Hulunbuir City, 2016—2025

年份（年）	检鼠数（只）	染蚤鼠数（只）	鼠体染蚤率（%）	获蚤总数（匹）	蚤指数
2016	657	149	22.68	378	0.58
2017	681	103	15.12	255	0.37
2018	723	133	18.40	592	0.82
2019	715	130	18.18	351	0.49
2020	905	200	22.10	542	0.60
2021	1 079	255	23.63	1 115	1.03
2022	1 238	162	13.00	702	0.57
2023	989	143	14.00	486	0.49
2024	1 141	199	17.44	775	0.68
2025	1 149	192	16.71	485	0.42
合计	9 277	1 666	17.96	5 681	0.61

2021 年获蚤数最多，共获蚤 1 115 匹；2017 年获蚤最少，仅为 255 匹。共检出 5 种鼠体媒介，分别为二齿新蚤、方形黄鼠蚤、光亮额蚤、角尖眼蚤以及谢氏山蚤。除 2017 年外，方形黄鼠蚤均占据主导地位，为优势蚤种；角尖眼蚤和二齿新蚤在 2016—2025 年种占比最低，仅占总蚤数的 0.28%。见图 3。

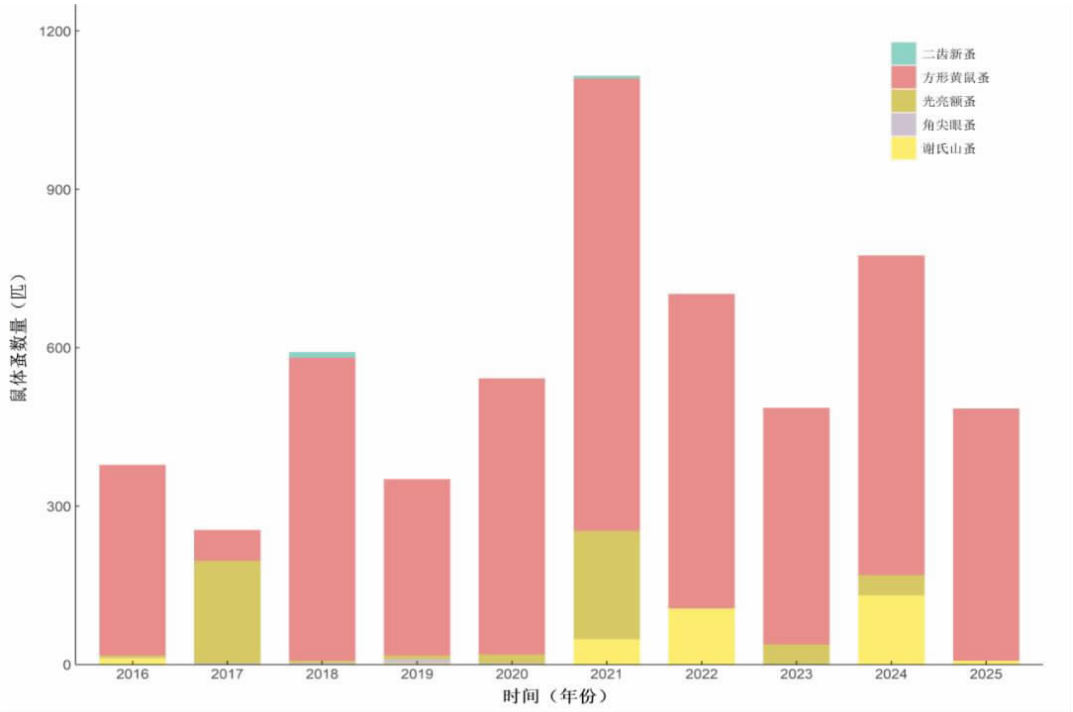


图 3　呼伦贝尔市 2016—2025 年鼠体媒介构成

Figure 3　Composition of vectors on rodent bodies in Hulunbuir City, 2016—2025

2.4　洞干媒介监测结果　2016—2025 年共探洞 6 273 个，发现染蚤洞数 27 个，获蚤 97 匹，年均染蚤率为 0.43%，年均蚤指数为 0.02。2024 年洞干染蚤率和蚤指数最高，分别为 1.33% 和 0.05；2017、2018、2019、2020 和 2022 年未发现染蚤洞干。方形黄鼠蚤是 2016—2025 年洞干蚤的优势蚤种，占比为 53.61%；光亮额蚤在所有检出的蚤中占比最低，为 10.31%。见表 3。

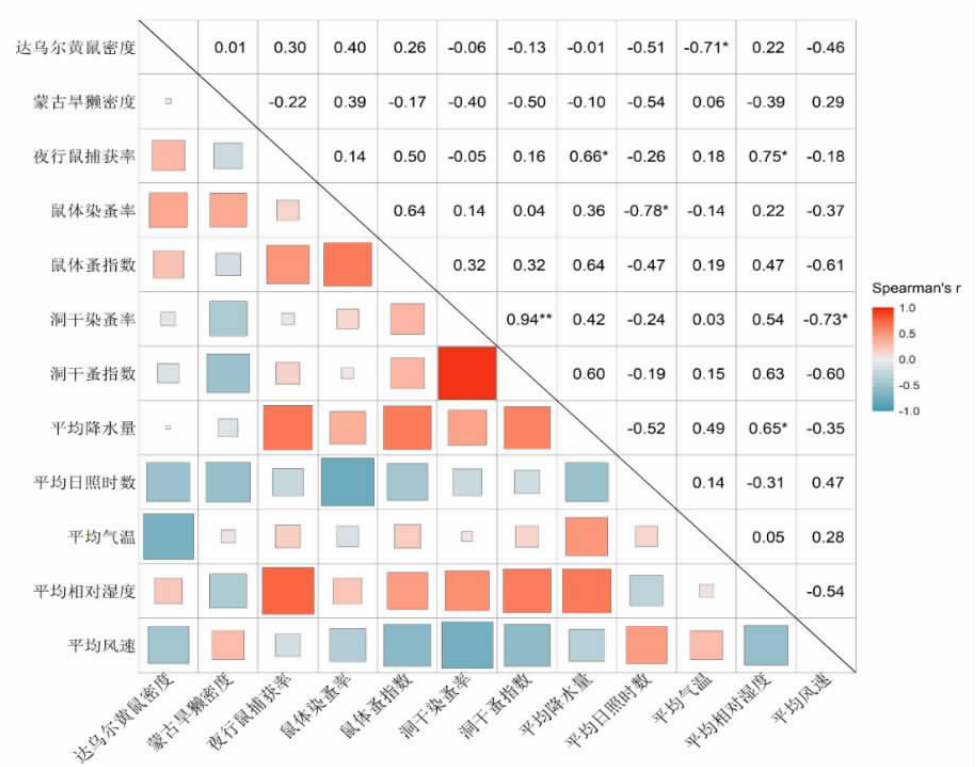
表 3　呼伦贝尔市 2016—2025 年洞干媒介监测结果

Table 3　Vector surveillance results in burrows in Hulunbuir City, 2016—2025

年份(年)	探洞数(个)	染蚤洞数(个)	染蚤率(%)	获蚤总数(匹)	蚤指数	洞干媒介生物构成(匹)		
						方形黄鼠蚤	谢氏山蚤	光亮额蚤
2016	324	1	0.31	1	0.00	1	0	0
2017	532	0	0.00	0	0.00	0	0	0
2018	533	0	0.00	0	0.00	0	0	0
2019	533	0	0.00	0	0.00	0	0	0
2020	548	0	0.00	0	0.00	0	0	0
2021	586	6	1.02	30	0.05	30	0	0
2022	762	0	0.00	0	0.00	0	0	0
2023	784	5	0.64	13	0.02	10	2	1
2024	828	11	1.33	45	0.05	7	29	9
2025	843	4	0.47	8	0.01	4	4	0
合计	6 273	27	0.43	97	0.02	52	35	10

2.5　监测结果与气象因素变化的相关性　2016—2025 年呼伦贝尔市宿主及媒介监测结果与气象因素 Spearman 相关分析显示，平均降水量与夜行鼠捕获率(r_s=0.66，P=0.038)呈显著正相关；平均日照时数与鼠体染蚤率(r_s=−0.78，P=0.008)呈显著负相关；平均气温与达乌尔黄鼠密度(r_s=−0.71，P=0.021)呈显著负相关；平均相对湿度与夜行鼠捕获率(r_s=0.75，P=0.013)呈显著正相关；平均风速与洞干蚤染蚤率(r_s=−0.73，P=0.016)呈显著负相关。见图 4。使用 Holm 法校正多重比较的 P 值，发现上述几组呈显著性的变量经校正后多数 P 值为 1，均无统计学意义。

逐一控制其余四个气象因素进行偏相关分析，发现平均降水量与夜行鼠捕获率(r_s=0.39，P=0.443)、平均日照时数与鼠体染蚤率(r_s=−0.67，P=0.146)、平均气温与达乌尔黄鼠密度(r_s=−0.65，P=0.162)、平均相对湿度与夜行鼠捕获率(r_s= 0.60，P=0.209)、平均风速与洞干蚤染蚤率(r_s= −0.52，P=0.287)之间均无统计学意义，但平均日照时数与蒙古旱獭密度(r_s=−0.95，P=0.004)却呈现显著负相关。



注：* 表示 P<0.05；** 表示 P<0.01。

图 4　呼伦贝尔市 2016—2025 年鼠疫监测结果与气象因素变化的相关性

Figure 4　Correlation between plague surveillance results and meteorological factors in Hulunbuir City, 2016—2025

3　讨　论

呼伦贝尔蒙古旱獭鼠疫自然疫源地位于内蒙古自治区东北部，是内蒙古四类鼠疫自然疫源地之一[9]。自 2014 年后，呼伦贝尔地区再未检出宿主病原学及血清学阳性样本[10-12]，但近年来内蒙古自治区其他地区仍有人间及动物间鼠疫疫情的发生，因此探究呼伦贝尔市近年来宿主和媒介蚤类的时间变化趋势及影响因素仍具有十分重要的意义。

本研究发现 2016—2025 年呼伦贝尔市达乌尔黄鼠平均鼠密度为 0.24 只 /hm^2，远高于蒙古旱獭密度（0.10 只 /hm^2），这可能与本地区历史上曾进行过大规模捕猎蒙古旱獭及生态环境的变化有关[13]。此外，与蒙古旱獭不同，达乌尔黄鼠密度总体变化幅度较大，在 2021 年达到了 0.37 只 /hm^2，在 2024 年降至最低，仅为 0.16 只 /hm^2，这可能是因为 2021 年春季气温回升较快，地表温度会率先达到出蛰临界值，导致其冬眠的存活率提升。

除主要宿主外，野外夜行鼠在鼠疫的发生和发展中同样充当着重要角色[14]。2016—2025 年夜行鼠捕获率呈现先升高（APC=29.608%，P=0.030）再下降（APC=-10.360%，P=0.035）的趋势，且升高的幅度要显著大于下降的幅度，究其原因可能是因为近年来内蒙古积极推广退耕还林还草政策及灭鼠技术的推广，从而导致其种群的变化及物种迁移[15]。此外，野外夜行鼠中布氏田鼠数量最多，为优势鼠种，可能与该地区毗邻布氏田鼠鼠疫疫源地有关。媒介蚤类是鼠疫传播过程中的关键环节[16]，鼠体染蚤率及蚤指数 2016—2025 年无显著变化趋势，呈现相对稳定的状态；洞干蚤及染蚤率始终呈现相对较低的水平，可能与鼠类洞穴内微环境的变化有关[17]。方形黄鼠蚤在鼠体媒介和洞干媒介中均为优势蚤种，可能与本地达乌尔黄鼠密度较高有关。

气候因素与传染病，特别是病媒传播的疾病密切相关[18]。本研究发现降水、相对湿度因素与夜行鼠捕获率呈显著正相关（P<0.05），究其原因可能是因为夜行鼠多为草食性动物[19]，更多的降水及湿度会促进草类植物的生长，进而导致夜行鼠的数量的增多。达乌尔黄鼠的最适栖息地年均温为 -3℃ ~ 14℃[20]，而其最活跃的地面活动温度为 20℃ ~ 25℃。本研究发现气温因素与达乌尔黄鼠密度呈显著负相关（P<0.05），一方面可能是冬、春季异常升温直接加剧了达乌尔黄鼠冬眠期间的能量消耗，加速体内脂肪储备耗尽，降低了越冬存活率[21]；另一方面可能是夏季持续高温会压缩其有效活动时间，导致活动频度下降。气候变化会改变蚤类发育和生存所必需的小气候条件，从而影响它们的种群数量[22]，研究发现日照因素、风速分别与鼠体和洞干染蚤率呈显著负相关（P<0.05），一方面可能是鼠体蚤倾向于避光和寻找黑暗环境，强光会刺激鼠蚤扩散，导致其能量消耗和脱水，从而缩短他们的寿命[23]；另一方面鼠蚤对气候条件的变化较为敏感[24]，尽管洞内提供了相对稳定的小气候，但强风会破坏这种稳定环境，不利于鼠蚤的生存。

尽管初始 Spearman 相关分析显示部分气象因素与监测指标存在显著关联，但经 Holm 法多重比较校正后，原始 P 值普遍被大幅调高，多数达到了 1，表明在控制 Ⅰ 类错误后，这些相关性的可靠性有限。鉴于气象因素间常存在多重共线性，进一步采用偏相关分析以筛选独立驱动因子，发现原始 Spearman 分析中的显著关联消失，但平均日照时数与蒙古旱獭密度呈显著负相关(P<0.05)，提示原始双变量相关可能受共线性或相互作用的影响，而偏相关分析有效排除了此类干扰，筛选出具有独立生态学意义的潜在影响因子。

综上所述，2016—2025 年呼伦贝尔市鼠疫主要宿主动物密度及媒介蚤类数量总体平稳，夜行鼠捕获率呈先升后降的单峰波动趋势。原始 Spearman 相关分析经多重比较校正后提示关联的可靠性不足，但偏相关分析却提示平均日照时数是影响旱獭密度的独立生态因子。尽管多数气象要素与监测指标无直接相关关系，鉴于其固有的多重共线性且相互影响，未来仍应持续关注气象因素的整体协同效应，以完善鼠疫监测预警体系。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Xu L, Wang Q, Yang RF, et al. Climate-driven marmot-plague dynamics in Mongolia and China [J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 11906.

[2] Bramanti B, Stenseth NC, Walloe L, et al. Plague: a disease which changed the path of human civilization[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 2016, 918: 1-26.

[3] Zhao YX, Sun ZB, An XQ, et al. Assessing the impacts of climate anomalies on plague risk in China during 1754-1949 [J]. Environment International, 2025, 201: 109555.

[4] Stenseth NC, Samia NI, Viljugrein H, et al. Plague dynamics are driven by climate variation [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103 (35): 13110-13115.

[5] Pham HV, Dang DT, Tran Minh NN, et al. Correlates of environmental factors and human plague: an ecological study in Vietnam [J]. International Journal of Epidemiology, 2009, 38(6): 1634-1641.

[6] Wang X, Wei XY, Song ZH, et al. Mechanism study on a plague outbreak driven by the construction of a large reservoir in southwest China (surveillance from 2000-2015)[J]. PLOS Neglected Tropical Diseases, 2017, 11(3): e0005425.

[7] 吴厚永. 中国动物志(昆虫纲,蚤目)[M]. 2 版. 北京：科学出版社，2007.

Wu HY. Chinese academy of sciences (fauna sinica: insecta, Siphonaptera)[M]. 2th ed. Beijing: Science Press, 2007.(In Chinese)

[8] 尚文旭,石杲. 内蒙古蚤目分科检索图示的研究[J]. 内蒙古医科大学,2024,11(9):716-717.
Shang WX, Shi G. A study on the pictorial key for Siphonaptera families in Inner Mongolia [J]. Disease Monitor & Control Sep, 2024, 11 (9): 716-717.(In Chinese)

[9] 梁译. 2017～2022 年内蒙古自治区鼠疫自然疫源地鼠疫监测流行病学及时空分布研究[D]. 呼和浩特:内蒙古医科大学,2024.
Liang Y. Epidemiological and spatiotemporay distribution of plague surveillance in natural foci of Inner Mongolia Autonomous Region from 2017 to 2022 [D]. Hohhot: Inner Mongolia Medical University, 2024.(In Chinese)

[10] 巴特尔,张亚楠,韩冰,等. 呼伦贝尔高原 2001～2010 年蒙古旱獭鼠疫监测分析 [J]. 中国地方病防治杂志,2014,29(1):37-39.
Ba TE, Zhang YN, Han B, et al. Surveillance analysis of plague in Mongolian marmot on the Hulunbuir Plateau, 2001 - 2010 [J]. Chinese Journal of Control of Endemic Disenaces, 2014, 29 (1): 37-39.(In Chinese)

[11] 李建云,张忠兵,范蒙光,等. 2004 至 2013 年蒙古旱獭鼠疫疫源地监测结果分析 [J]. 内蒙古医学杂志,2014,46(8):961-963.
Li JY, Zhang ZB, Fan MG, et al. Analysis of surveillance results of Mongolian marmot plague focus, 2004 - 2013 [J]. Inner Mongolia Medical Journal, 2014, 46(8): 961-963.(In Chinese)

[12] 刘东艳,王勇,张闻洋,等. 2009-2018 年呼伦贝尔高原蒙古旱獭鼠疫疫源地宿主动物监测结果分析[J]. 疾病监测,2019,34(7):599-603.
Liu DY, Wang Y, Zhang WY, et al. Host animal surveillance in plague focus of Marmota sibirica in Hulunbeir plateau, 2009-2018 [J]. Disease Surveillance, 2019, 34(7): 599-603.(In Chinese)

[13] 赵卉东,范蒙光,岳明鲜,等. 呼伦贝尔蒙古旱獭鼠疫自然疫源地的历史变迁 [J]. 中国地方病防治杂志,2000,15(2):118-119.
Zhao HD, Fan MG, Yue MX, et al. Historical changes of the natural plague focus of Mongolian marmot in Hulunbuir [J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 2000, 15(2): 118-119.(In Chinese)

[14] 张雅娴,刘艳华,郭东. 赤峰市达乌尔黄鼠动物鼠疫监测流行病学分析[J]. 中国地方病防治,2022,37(1):66-67.
Zhang YX, Liu YH, Guo D. Epidemiological analysis of plague surveillance in Daurian ground squirrels in Chifeng City [J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 2022, 37(1): 66-67.(In Chinese)

[15] 康宁铄,王琪,樊荣,等. 2006—2020 年内蒙古自治区达乌尔黄鼠疫源地动物间鼠疫时间趋势及影响因素[J]. 中华疾病控制杂志,2025,29(11):1273-1279.
Kang NS, Wang Q, Fan R, et al. Temporal trends and influencing factors of epizootic plague in the Daurian ground squirrel plague focus of Inner Mongolia Autonomous Region, 2006 - 2020[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2025, 29 (11): 1273-1279.(In Chinese)

[16] Sebbane F, Dewitte A, Baillez A. Plague in the modern era, understanding the transmission of Yersinia pestis by fleas [J]. Med Sci (Paris), 2025, 41(6/7): 578-584.

[17] Sun H, Ye KH, Liu DH, et al. Evolution of hemoglobin genes in a subterranean rodent species (lasiopodomys mandarinus)[J]. Biology, 2020, 9(5): 106.

[18] Zhang L, Wang ZH, Chang N, et al. Relationship between climatic factors and the flea index of two plague hosts in Xilingol League, Inner Mongolia Autonomous Region [J]. Biosafety and Health, 2024, 6 (4): 244-250.

[19] Botto-Mahan C, Bacigalupo A, Correa JP, et al. Prevalence, infected density or individual probability of infection? Assessing vector infection risk in the wild transmission of Chagas disease [J]. Proceedings. Biological Sciences / the Royal Society, 2020, 287(1922): 20193018.

[20] Tian L. Relationship between environmental factors and the spatial distribution of Spermophilus dauricus during 2000 - 2015 in China [J]. International Journal of Biometeorology, 2018, 62 (10): 1781-1789.

[21] 于超,宋士一,彭霞,等. 环境温度对达乌尔黄鼠冬眠模式和能量消耗的影响[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版),2014(3):337-342.
Yu C, Song SY, Peng X, et al. Influence of ambient temperature on hibernation patterns and energy consumption in Daurian ground squirrels (Spermophilus dauricus)[J]. Journal of Shenyang Normal University(Natural Science Edition), 2014(3): 337-342.(In Chinese)

[22] Samuel MD, Poje JE, Rocke TE, et al. Potential effects of environmental conditions on prairie dog flea development and implications for sylvatic plague epizootics[J]. EcoHealth, 2022, 19(3): 365-377.

[23] Shang M, Ji HQ, Wang ZX, et al. Analysis of the effects of hydrometeorological conditions on flea indices of two rodent species in Inner Mongolia[J]. Integrative Zoology, 2026, 21(1): 168-177.

[24] 武丽,罗云燕,黎文鸿,等. 云南剑川鼠疫疫源地野外鼠形动物寄生蚤丰盛度和丰富度影响因素 [J]. 中华疾病控制杂志,2024,28(1):75-82.
Wu L, Luo YY, Li WH, et al. Factors for the abundance and richness of parasitic fleas of wild small mammals in Jianchuan plague foci of Yunnan Province [J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2024, 28(1): 75-82.(In Chinese)

收稿日期:2026-06-22