

吴雪军, 李盛琼, 郑思思, 等. 2023年布氏杆菌病通过从省外调运活羊传入浙江省湖州市养殖场的定量风险评估 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (8): 95-99.

WU X J, LI S Q, ZHENG S S, et al. Quantitative risk assessment of the introduction of brucellosis into a livestock farm in Huzhou City, Zhejiang Province, through importation of live sheep from outside the province in 2023 [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (8): 95-99.

2023年布氏杆菌病通过从省外调运活羊传入浙江省湖州市养殖场的定量风险评估

吴雪军¹, 李盛琼², 郑思思³, 张传亮^{1*}

(1. 浙江省动物疫病预防控制中心, 浙江 杭州 311199;

2. 四川省动物疫病预防控制中心, 四川 成都 610041;

3. 青海省动物疫病预防控制中心, 青海 西宁 810000)

摘要: 为评估2023年布氏杆菌病(简称布病)通过调运的活羊传入浙江省湖州市养殖场的风险大小, 绘制路径情景树, 根据湖羊调运进入养殖场前是否开展隔离检测建立了两种风险评估模型, 通过@Risk软件对相关参数进行模拟运算。结果显示: 未经隔离检测和经过隔离检测两种情景模型调运方式, 2023年养殖场调入活羊传入布病的可能性分别为0.197% (95% CI: 0.053%~0.431%) 和0.096% (95% CI: 0.024%~0.226%), 对比发现调运活羊未经隔离检测传入布病的风险是经过隔离检测的2.05倍; 敏感性分析结果显示, 养殖场的群体流行率和个体流行率是主要风险因素, 相关系数分别为0.89和0.20。结论: 通过引种进行源头把控, 可以降低调入活羊的群体流行率和个体流行率, 同时, 通过开展落地隔离检测, 可以有效降低布病的传入风险。

关键词: 布氏杆菌病; 调运; 定量风险评估

中图分类号: S851

文献标志码: A

文章编号: 0529-5130(2025)08-0095-05

Quantitative risk assessment of the introduction of brucellosis into a livestock farm in Huzhou City, Zhejiang Province, through importation of live sheep from outside the province in 2023

WU Xuejun¹, LI Shengqiong², ZHENG Sisi³, ZHANG Chuanliang^{1*}

(1. Zhejiang Province Animal Disease Prevention and Control Center, Hangzhou 311199, China;

2. Sichuan Province Animal Disease Prevention and Control Center, Chengdu 610041, China;

3. Qinghai Province Animal Disease Prevention and Control Center, Xining 810000, China)

Abstract: To evaluate the risk of brucellosis being introduced into livestock farms in Huzhou City, Zhejiang Province, through the transportation of live sheep in 2023, a path scenario tree was drawn. Two risk assessment models were established based on whether isolation and testing were conducted before the transportation of Hu sheep into the farms. The relevant parameters were simulated and calculated using @Risk software. The results showed that the probabilities of introducing brucellosis into the farms in 2023 through the transportation of live sheep without isolation and testing and with isolation and testing were 0.197% (95% CI: 0.053%–0.431%) and 0.096% (95% CI: 0.024%–0.226%), respectively. It was found that the risk of introducing brucellosis through the transportation of live sheep without isolation and testing was 2.05 times that with isolation and testing. The results of the sensitivity analysis revealed that the herd prevalence rate and individual prevalence rate in the farms were the main risk factors, with correlation coefficients of 0.89 and 0.20, respectively. The research findings suggested that, by controlling from the source of introduction, reducing the herd prevalence rate and individual prevalence rate of the imported live sheep, and strictly conducting isolation and testing after arrival, the risk of introducing brucellosis can be effectively reduced.

Keywords: brucellosis; transport; quantitative risk assessment

收稿日期: 2024-09-26; 修回日期: 2025-06-10

基金项目: 浙江省“领雁”研发攻关计划项目(2023C02036)

第一作者: 吴雪军, 男, 硕士, 兽医师

* 通信作者: 张传亮, 硕士, 高级兽医师, 主要从事动物疫病监测与防控研究工作, E-mail: 417270733@qq.com。

布氏杆菌病 (brucellosis, 简称布病) 又称“波状热”, 是由布氏杆菌 (*Brucella*) 感染引起的人畜共患传染病, 我国主要在北方地区流行, 近年来南方地区的流行强度亦有所增加, 局部地区时有疫情发生^[1]。

长期以来, 根据宿主特异性将本菌属分为 6 个种 19 个生物型, 其中马耳他布氏杆菌 (羊布氏杆菌, *B. melitensis*) 有 3 个生物型 (1、2、3 型), 流产布氏杆菌 (牛种布氏杆菌, *B. abortus*) 有 8 个生物型 (1~9 型, 缺少 8 型), 猪布氏杆菌 (*B. suis*) 有 5 个生物型 (1~5 型), 绵羊附睾种布氏杆菌 (*B. ovis*) 为 1 个生物型, 沙林鼠布氏杆菌 (*B. neotomae*) 为 1 个生物型, 犬布氏杆菌 (*B. canis*) 为 1 个生物型^[2]。近年来, 已经成功分离出几个新物种, 包括 *B. inopinata* (来自人类)、*B. pinnipedialis*、*B. ceti* (来自水生动物) 和 *B. microti* (来自普通田鼠), 将数量增加到 11 个物种^[3]。在我国发现和流行的主要是羊种、牛种和猪种, 绵羊和山羊均易感。羊多数病例为隐性感染, 无明显症状, 只有在大批流产时可见症状, 主要表现也是流产, 发生在妊娠后的第 3~4 个月, 在流产前约 2~3 d, 体温升高, 阴道排出黏液带血样分泌物, 常并发子宫内膜炎、关节炎及滑膜炎 (主要为腕关节及跗关节)、乳房炎等。公羊除发生关节炎外, 有时发生睾丸炎、附睾炎, 睾丸肿大, 触诊局部发热, 有疼感。

湖州市是传统养羊大市, 根据调查, 2023 年湖羊存栏量达 45.98 万只, 占浙江省全省总量的 1/3。2023 年, 全市存栏 500 头以上的规模羊场有 120 家 (万头以上羊场 15 家), 其余散养户 5 900 家, 按照产业数据统计, 全市羊场规模化率达到 78% 以上。全年从省外调入活羊数量占全省调入的 71%, 调入来源分布于江苏、广西、安徽、江西、贵州、山东等多个省份。本研究旨在通过定量分析从省外调运活羊引发布病传入湖州市养殖场的可能性, 以期降低布病通过该途径传入的风险提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源和分析方法

活羊调运数据通过“浙江省数字畜牧应用系统”获取; 布病监测数据来源于中国动物卫生与流行病学中心以及相关文献报道。应用 Excel 和 @ Risk 等软件进行分析和模拟运算。

1.2 省外调入路径情景树模型建立

根据省外活羊调入基本流程, 绘制传入路径情景树。情景树 1 为活羊进入养殖场前不开隔离检测, 直接进入养殖场; 情景树 2 为省外调入的每批次活羊

进入养殖场前进行隔离检测, 并实施严格的监测阳性则整群淘汰机制。

1.3 风险评估模型建立的假设

1.3.1 活羊来源的假设

通过分析“浙江省数字畜牧应用系统”获取的活羊调运数据, 发现省外调入活羊均来自养殖场, 实际情况中可能存在某批次活羊来自多个场点, 假设每批次活羊均来自同一个养殖场点。同时, 实际情况存在省外调入活羊未备案情况, 导致其来源、数量均未知, 为便于研究假设每批次调入的活羊均经过官方备案。

1.3.2 布病流行率的假设

根据浙江省关于做好从省外调入活牛羊有关工作的通知要求, 浙江省只允许从非免疫区以及布病无疫区、无疫小区或净化场调入牛羊, 因此布病流行率采用 2023 年全国非免疫场的监测数据, 不考虑不同省份羊养殖场的场群流行率和个体流行率的差异。

1.4 模型参数设定

模型选择及参数设定依据《动物及动物产品风险分析培训手册》中所述的方法进行^[4]。

调出活羊的养殖场是感染场的概率 (P_1)。依据中国动物卫生与流行病学中心 2023 年牛羊布病专项流行病学调查数据, 采用 Beta 分布模拟。

从感染场随机挑选 1 只活羊是感染个体的概率 (P_2)。依据中国动物卫生与流行病学中心 2023 年牛羊布病专项流行病学调查数据, 采用 Beta 分布模拟。

调入活羊隔离检疫过程中抽检的比例 (P_3)。通过与动物卫生监督机构、动物疫病预防控制中心的工作人员座谈获得, 采用 Pert 分布模拟。

隔离检疫使用的检测方法的敏感性 (P_4)。落地检疫使用布病虎红平板凝集试验, 其检测敏感性通过查阅文献获得, 采用 Uniform 分布模拟。

1.5 风险分析

根据获取的信息建立布病通过从省外调运活羊传入湖州市的风险路径图 (情景树), 利用 Excel 建立随机模型, 显示相关传入风险; 用 @ Risk 软件对风险路径中的不同参数, 根据数据类型等, 选用相应的概率分布进行模拟, 对模型参数进行蒙特卡洛仿真计算, 并对模型进行敏感性分析, 确定各参数的影响程度及相关性。

2 结果与分析

2.1 活羊调入湖州市的数据分析

从“浙江省数字畜牧应用系统”调取从省外调入活羊用于饲养的数据, 其中 2023 年, 湖州市共从省外调入活羊 41 批次, 共 16 575 只, 分别占全省活

羊调运批次的 66% 和活羊调运总数的 71%，平均每批次 404 只；从活羊来源看，主要来自江苏、广西、安徽、江西、贵州和山东等省份，具体数据见表 1。

表 1 2023 年从省外调入湖州市的活羊情况统计

来源地	批次	数量	占比/%
江苏	14	6 730	40.60
广西	9	3 520	21.24
安徽	7	2 135	12.88
江西	4	1 500	9.05
贵州	4	1 290	7.78
山东	3	1 400	8.45

注：数据来源于“浙江省数字畜牧应用系统”。

2.2 不同条件下的情景树

2.2.1 未经隔离检测布病传入养殖场的情景树

随机引入 1 只活羊，不开隔离检测直接进入养殖场，布病传入概率为 P_a 。按照图 1 情景树模型，计算调入 1 只活羊传入布病的概率，计算公式如下：

$$P_a = P1 \times P2 \tag{1}$$

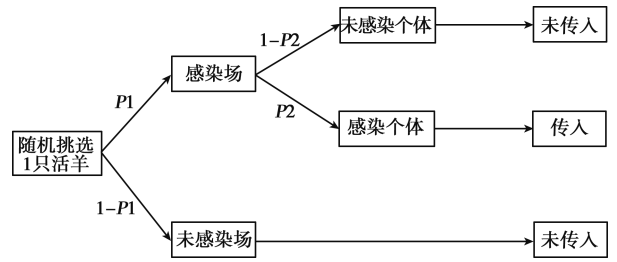


图 1 未经隔离检测布病传入养殖场的情景树

2.2.2 经隔离检测后布病传入养殖场的情景树

随机引入 1 只活羊，开展隔离检测，如检测到阳性，则立即淘汰阳性活羊，布病传入概率为 P_b 。按照图 2 情景树模型，计算调入 1 只活羊传入布病的概率，计算公式如下：

$$P_b = \frac{P1 \times P2 \times [(1-P3) + P3 \times (1-P4)]}{1 - P1 \times P2 \times P3 \times P4} \tag{2}$$

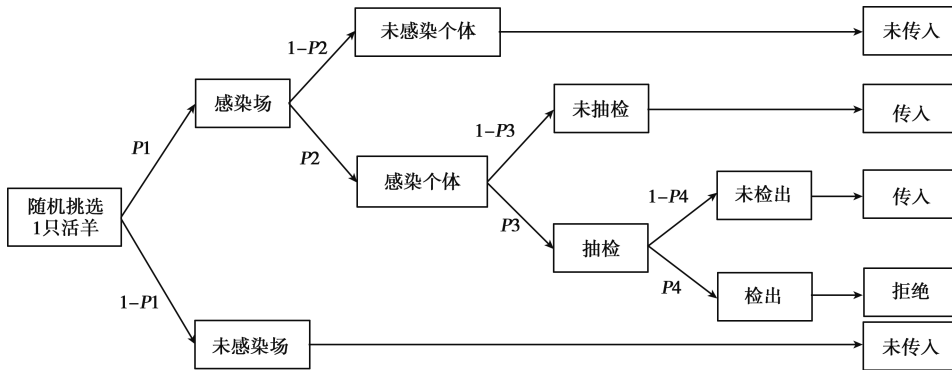


图 2 经隔离检测后布病传入养殖场的情景树

2.3 模型参数描述和赋值

根据获取的信息和建立的情景树，获得模型参

数，具体信息见表 2。

表 2 通过活羊引进传入布病的定量风险模型输入参数

参数描述	编码	分布	输入参数
调出活羊的养殖场是感染场的概率	$P1$	Beta	(3+1, 50-3+1)
从感染场挑选的 1 只活羊是感染个体的概率	$P2$	Beta	(57+1, 2 260-57+1)
每批次活羊隔离检疫中抽检的比例	$P3$	Pert	(0.4, 0.5, 1)
隔离检疫所使用的检测方法的敏感性	$P4$	uniform	(0.858 7, 0.948 5)

2.4 风险计算

2.4.1 路径 1

根据公式①和模型参数，利用风险决策软件建立风险预测模型并进行计算，模拟仿真 5 000 次。结果

显示，从省外调入 1 只活羊不经隔离检测直接进入养殖场传入布病的风险值为： $P = 0.197\%$ (95% CI: 0.053%~0.431%)，概率分布结果见图 3。

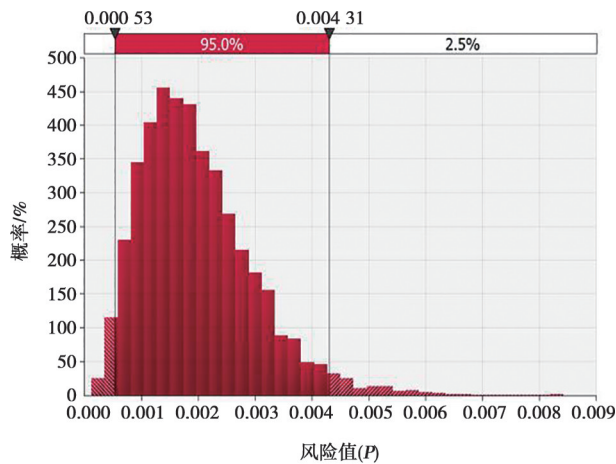


图3 不经隔离检测传入布病的概率分布

2.4.2 路径2

根据公式②和模型参数，利用风险决策软件建立风险预测模型并进行计算，模拟仿真5 000次。结果显示，从省外调入1只活羊经隔离检测后进入养殖场传入布病的风险值为： $P = 0.096\%$ （95% CI: 0.024%~0.226%），概率分布结果见图4。

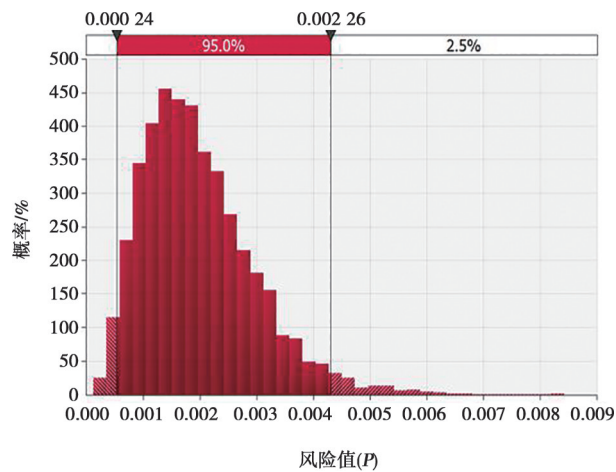


图4 隔离检测后传入布病的概率分布

2.5 模型的敏感性分析

使用@Risk软件对情景树的模型参数进行敏感性分析，计算每个参数的相关系数。结果（图5）显示，相关系数最大的是调出活羊的养殖场是感染场的概率（P1），其次是从感染场挑选的1只活羊是感染个体的概率（P2）。每批次活羊隔离检疫中抽检的比例（P3）和隔离检疫所使用的检测方法的敏感性（P4）是保护性因素。

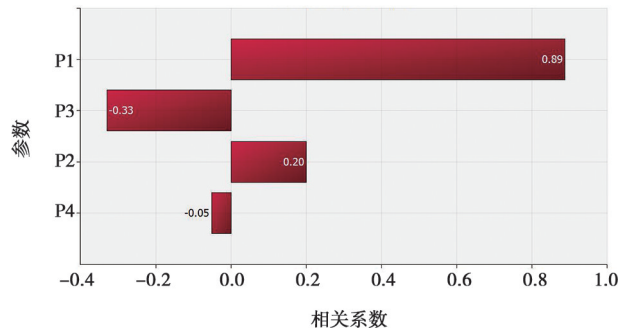


图5 引进1只活羊传入布病的风险敏感性分析

3 讨论

近些年，由于动物跨省跨区域移动导致的疫病在不同省份和地区间传播时有发生，动物调运成为口蹄疫、非洲猪瘟、小反刍兽疫和布病传播的重要风险因素^[5-7]。传入定量风险评估是描述动物疫病传入某一特定环境的生物学途径，对动物疫病传入过程发生概率采用数值进行计算和描述的过程^[8-9]。近些年，国内有一些学者开展了动物跨区调运导致疫病传入的风险评估工作，如李超等^[10]为分析评估赤羽病通过牛羊调运传入山东省的风险，收集、整理2021—2022年活牛和活羊调入山东省的途径、调出省份、调入数量和批次等信息，利用“情景树”法建立传入风险随机模型进行仿真分析，得出从外省调入感染赤羽病羊的风险值为0.0155（95% CI: 0.011~0.0228）；从外省调入感染赤羽病牛的风险值为0.0338（95% CI: 0.0225~0.0493）。杨宏琳等^[11]为分析云南中缅边境活牛走私传入口蹄疫的可能性，收集云南边境地区活牛非法调入途径、路线和数量等信息，利用“情景树”法建立传入风险随机模型进行仿真分析，得出从云南中缅边境走私调入1头牛，口蹄疫传入我国的概率为0.81%（95% CI, 0.43%~1.47%），且每年约有14 017头（95% CI: 7 520~25 660头）口蹄疫感染牛自中缅边境走私进入云南省；口蹄疫通过中缅边境活牛走私传入我国的风险取决于缅甸北部活牛市场内的口蹄疫流行率。

湖州市是传统养羊大市，且以饲养湖羊为主，年供种能力达10万只，占全省70%。全市已建成国家级保护区1个，国家级湖羊产业强镇1个，国家级羊核心育种场2家，万头羊场15家，种羊场28家。但是，由于市场价格的因素，每年从省外调入活羊的批次和数量较多，一旦布病传入养殖场，会对当地湖羊养殖业造成较大影响。因此，开展布病通过从省外调运活羊传入湖州市养殖场的风险进行评估意义重大。本研究通过设计省外调入活羊进入养殖场前不开展隔

离检测和开展隔离检测两个风险路径图，并对各个节点的参数进行赋值，使用@ Risk 软件通过蒙特卡洛方法模拟运算 5 000 次，结果，随机从省外调入 1 只活羊，未经隔离检测活羊直接进入养殖场导致布病传入的风险是 0.197% (95% CI: 0.053%~0.431%)；经过隔离检测且执行阳性淘汰机制，最终布病传入养殖场的风险概率为 0.096% (95% CI: 0.024%~0.226%)。前者是后者的 2.05 倍，通过对比验证，对省外调入的活羊开展隔离检测可以有效降低布病的传入风险。

根据敏感性分析的结果提出两点建议：一是从源头控制，养殖场从布病无疫小区、布病无疫区或者布病净化场调运活羊；二是提高隔离检测的抽检比例，同时使用敏感性更高的检测方法，提高阳性个体的检出率。

参考文献：

- [1] 国家卫生健康委办公厅，国家中医药局综合司. 布鲁氏菌病诊疗方案(2023年版)[EB/OL].(2023-12-29)[2024-09-26]. <https://www.nhc.gov.cn/cms-search/downloadFiles/636b3c3d724c41-d0876092944162f1ec.pdf>.
- [2] 陆承平. 兽医微生物学[M]. 北京：中国农业出版社，2013；

149-150.

- [3] DEFIGUEIREDO P, FICHT T A, RICE-FICHT A, et al. Pathogenesis and immunobiology of brucellosis: review of *Brucella*-host interactions [J]. The American Journal of Pathology, 2015, 185 (6): 1505-1517.
- [4] 王承芳. 动物及动物产品风险分析培训手册[M]. 北京：中国农业出版社，2004.
- [5] 杨康，杨夷平，陈建豪，等. 新疆某省际公路检查站调入牛羊口蹄疫、小反刍兽疫病原学检测[J]. 中国动物检疫，2022, 39 (5): 27-29.
- [6] 谭丹，蒋芬芳，宁华杰，等. 一起因违规调运引发非洲猪瘟疫情的处置报告[J]. 中国兽医杂志，2023, 59 (6): 150-152.
- [7] 赵川，董国兴，吴艳秋，等. 一起山羊布鲁氏菌病疫情的流行病学调查及处置[J]. 吉林畜牧兽医，2023, 44 (9): 105-106.
- [8] 李超，戴美霞，王素春，等. 跨境动物疫病传入定量风险评估研究简析[J]. 中国动物检疫，2023, 40 (12): 68-72.
- [9] 朱少奇，孙玉国，高翔，等. 黑龙江省边境地区黑河市非洲猪瘟传入风险评估[J]. 中国动物检疫，2022, 39 (2): 40-44.
- [10] 李超，沈朝建，魏玉荣，等. 2021—2022年赤羽病通过牛羊调运传入山东省的定量风险评估研究[J]. 畜牧与兽医，2024, 56 (2): 98-103.
- [11] 杨宏琳，曾邦权，何基保，等. 口蹄疫通过云南中缅边境活牛走私传入我国的定量风险评估[J]. 中国动物检疫，2020, 37 (12): 3-8.