

戴美霞, 李超, 杨宏琳, 等. 非洲马瘟通过马属动物进口传入我国的定量风险评估研究 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (10): 109-115.

DAI M X, LI C, YANG H L, et al. Establishment and application of a quantitative risk assessment model for the introduction of African horse sickness through the importation of equids based on Monte Carlo techniques [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (10): 109-115.

非洲马瘟通过马属动物进口传入我国的定量风险评估研究

戴美霞^{1,2#}, 李超^{2,3#}, 杨宏琳², 刘瀚泽², 黄克和³, 张毅^{1*}, 沈朝建^{2*}

(1. 遵义医科大学, 贵州 遵义 563004;

2. 中国动物卫生与流行病学中心/农业农村部动物生物安全风险预警及防控重点实验室(南方)/

青岛市动物生物安全风险重点实验室, 山东 青岛 266032;

3. 南京农业大学动物医学院, 江苏 南京 210014)

摘要: 为分析评估非洲马瘟通过马属动物进口传入我国的风险, 收集、整理了马属动物进口到我国的途径、检疫的步骤和方法、进口数量等信息, 利用“情景树”法建立传入风险随机模型, 并基于蒙特卡洛技术进行仿真分析。结果: 非洲马瘟通过自非洲进口马匹传入我国的风险平均值为 2.13×10^{-6} (95%CI: $0.30 \times 10^{-6} \sim 6.68 \times 10^{-6}$), 从非洲进口每 1 000 匹马中至少有 1 匹马患病的可能性为 0.21%。研究结果说明, 基于目前的进口检疫步骤和方法, 不能完全排除通过马属动物进口传入我国的可能, 建议利用新的技术和手段, 提高检测方法的敏感性与特异性, 避免从高风险国家进口马属动物。本研究基于蒙特卡洛技术, 构建了非洲马瘟通过马属动物进口传入我国的定量风险评估模型, 为非洲马瘟这种重要外来动物疫病的防控提供了工具和参考。

关键词: 非洲马瘟; 定量风险评估; 进口; 检测方法

中图分类号: S855.3 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2025)10-0109-07

Establishment and application of a quantitative risk assessment model for the introduction of African horse sickness through the importation of equids based on Monte Carlo techniques

DAI Meixia^{1,2#}, LI Chao^{2,3#}, YANG Honglin², LIU Hanze², HUANG Kehe³, ZHANG Yi^{1*}, SHEN Chaojian^{2*}

(1. Zunyi Medical University, Zunyi 563004, China;

2. China Animal Health and Epidemiology Center/Key Laboratory of Animal Biosafety Risk Prevention and Control (South), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Animal Biosafety of Qingdao City, Qingdao 266032, China;

3. College of Veterinary Medicine, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, China)

Abstract: To assess the risk of African horse sickness (AHS) entering our country through the importation of equine, we collected and organized information regarding the pathways of equine imports, quarantine procedures and methods, and import quantities. Using the “scenario tree” method, we established a stochastic model to evaluate the risk of the introduction, followed by simulation analysis based on Monte Carlo techniques. The results showed that the average risk of AHS entering the country through imported horses from Africa is 2.13×10^{-6} (95%CI: $0.30 \times 10^{-6} \sim 6.68 \times 10^{-6}$), meaning there is a 0.21% probability of at least one infected horse among every 1 000 imported ones from Africa. These findings suggested that the current quarantine procedures and methods cannot completely eliminate the possibility of AHS introduction through equine imports. We recommended employing new technologies to enhance the sensitivity and specificity of detection methods, thereby avoiding imports from high-risk countries. Therefore, a quantitative risk assessment model was constructed in this study for AHS imported into China through equine based on Monte Carlo techniques, providing tools and references for prevention and control of AHS, an important exotic animal disease.

Keywords: African horse sickness; quantitative risk assessment; import; detection method

收稿日期: 2024-12-31; 修回日期: 2025-07-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1800500); 黔科合基础-ZK[2023]重点057项目

第一作者: 戴美霞, 女, 硕士研究生; 李超, 男, 博士, 高级兽医师。*共同第一作者

*通信作者: 沈朝建, 博士, 正高级兽医师, 主要从事动物疫病流行病学调查和风险评估研究, E-mail: shenchaojian@cahec.cn; 张毅, 博士, 副研究员, 主要从事病原学及流行病学研究, E-mail: zhangyizmu@163.com。

非洲马瘟 (African horse sickness, AHS) 是由非洲马瘟病毒 (African horse sickness virus, AHSV) 引起的马属动物的一种非接触性虫媒传染病, 以呼吸系统和循环系统病变为特征^[1-2]。马属动物均可感染, 马的易感性最高, 发病最严重, 死亡率最高, 病死率可高达 95%^[3-4]。AHS 的传播媒介主要是库蠓, 其次是伊蚊、蜚蠊等吸血昆虫, 拟蚊库蠓是该病最重要的传播媒介。据报道, 我国境内存在超过 300 种库蠓属昆虫, 为 AHSV 的传播提供了必要条件^[5]。我国将 AHS 列为一类动物疫病, AHS 也属于《中华人民共和国进境动物检疫疫病名录》中的一类传染病, 为口岸重点防范和检疫的动物疫病^[6-7]。

AHS 最早于 17 世纪在撒哈拉以南的地区发现, 然后传播到了非洲其他地区, 在撒哈拉沙漠南部的非洲热带和亚热带地区呈地方性流行, 范围很广, 西起塞内加尔、埃塞俄比亚, 东至索马里, 并且向南扩展至南非北部。后又从非洲传播至欧洲、中东和印度、巴基斯坦等南亚地区^[5,8]。近几年东南亚也开始出现 AHS 疫情, 2020 年泰国发现疫情, 同年马来西亚也报告发现了疫情^[9]。截至目前, 全球共有 46 个国家报告了 AHS 疫情^[10-15], 这些疫情的发生很多都和马匹的贸易有关, 随着全球经济一体化和动物及动物产品国际贸易量的增加, AHSV 跨境传播的可能性逐渐增大。中国是马匹养殖大国, 马匹数量居世界前列。2019 年, 中国马匹存栏 367.1 万匹, 占世界总量的 6%, 排名第 5。据行业统计, 马业全产业链产值约 700 亿元^[16]。我国仍然是世界动物卫生组织 (WOAH) 认证的无 AHS 国家, 但发生过疫情的泰国、马来西亚这些东南亚国家与我国距离非常近, 因此我国的疫情防控不可放松。尤其是我国西南地区的省份, 不仅是养马的大省, 气候也非常适合库蠓的存活和繁衍, 极利于 AHS 疫情的传播。因此, 我国的疫情预防工作也相当艰巨, 一旦传入, 将给我国的马养殖业造成很大的影响, 必须要引起重视^[16]。

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, 病原传入的可能途径与传入的概率是动物疫病传入定量风险评估的主要内容^[17-18]。本研究基于蒙特卡洛技术, 建立了 AHS 通过马属动物进口传入我国的定量风险评估模型, 并对传入风险进行了评估, 以期为 AHS 防控手段的改进和政策的制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

1.1.1 马属动物进口数据

通过海关总署海关统计数据在线查询平台 (<http://stats.customs.gov.cn>) 查询 2015—2022 年马属动物 (HS 编码: 0101) 进口数据。

1.1.2 马属动物进口检疫过程及相关参数

以从美国、智利等国进口马属动物为例, 研究 AHS 传入中国的可能性。通过 2 个途径掌握马属动物进口检疫过程: 一是参阅中美双方签署的《关于中国从美国输入马的检疫和卫生要求议定书》和中智双方签署的《中华人民共和国海关总署与智利农业部关于中国从智利输入马的检疫和卫生要求议定书》, 获取马属动物进口程序和检疫要求; 二是通过查阅相关发表的学术文章、研讨会资料, 获取部分技术参数。

1.2 马属动物进口过程

根据中美、中智双方签署的议定书以及其他相关资料的相关规定和要求, 我国对进口马属动物主要采取以下步骤:

第一步: 农场检疫。进入隔离场前 30 d 内, 必须在饲养场进行临床检查中未发现传染病的临床症状, 并在认可的实验室进行疫病的检疫, 结果为阴性。

第二步: 隔离场检疫。在批准的隔离场隔离检疫至少 30 d, 对输出的马属动物逐头进行临床检查是健康的、没有任何传染病的临床症状, 并在美方认可的实验室进行相关试验, 结果为阴性。

第三步: 运输途中防护 (接触其他易感动物或媒介)。装运马属动物的运输工具必须清洗, 并用批准的药物进行消毒, 在输出前 24 h 内, 官方兽医对输出的马属动物进行临床检查, 未发现传染病的临床症状和迹象, 检疫期间和运输途中所用草料、垫草不得来自马属动物的传染病流行地区, 并符合兽医卫生条件。

第四步: 入境海关临床查验。

第五步: 进口动物专用隔离场检疫。所有马属动物将陆运至专门的隔离场, 开始为期 30 d 包括采样实验室检测的隔离检疫。

1.3 “情景树”建立

参照文献 [17] 中所列的风险分析方法, 系统梳理与可视化分析马属动物进口到我国的传入路径, 然后对路径中的关键节点设置参数来建立“情景树”。根据获取的信息, 建立非洲马瘟通过马属动物进口传入中国的风险路径图。

1.4 AHS 通过马属动物进口传入我国的模型参数

为分析因马属动物进口导致 AHS 传入的风险，建立了基于马属动物进口程序的反映马属动物进口过程的随机模型，用收集的数据拟合模型参数。所有的参数根据所收集到的数据类型选择相应的概率分布进行估计，包括 Pert 分布、Beta 分布、Uniform 分布等。

不同马属动物，如马、驴、骡和斑马的带毒时间不同，根据世界动物卫生组织（WOAH）关于非洲马瘟的手册《African-horse-sickness-1》显示：马的病毒血症持续时间为 4~8 d，也可能延长至 21 d；驴的病毒血症会持续 28 d；斑马的病毒血症可达 40 d。不同马属动物对病毒的易感性和病毒带毒时间不同，然而不管何种马属动物，进口和检疫程序是固定的，因此基于马属动物进口的模型和数学公式是一致的，只是不同马属动物的模型参数值会有所不同。本文主要是从模型角度分析，基于马匹的传入，建立 AHS 定量风险评估模型，为防范 AHS 的传入提供模型支撑。

1.4.1 马匹发病群内 AHS 个体流行率 (P1) 和场群流行率 (Hp)

依据文献研究显示，检测 AHS 血清学阳性马场内的个体 (N) 总计 320 匹，其中阳性个体 (Np) 275 匹，用 Beta 分布模拟 AHS 血清学抗体阳性率或

个体流行率 (Pb)，模型为 Risk Beta (Np + 1, N - Np + 1)^[19]。根据 AHS 的传播和流行规律，AHS 血清学监测阳性个体并不能代表该个体具备散毒、带毒及感染性，因此根据 AHSV 感染机制特点、专家反馈意见和查阅相关资料表明，马匹感染 AHSV 后，动物的带毒时间通常为 4~8 d，也可能延长至 21 d。故将感染情况与实际携带病原情况利用 Pert 分布进行换算和模拟，即个体流行率矫正系数 (Pr)，换算系数最小为 (4/365)，最可能为 (6/365)，最大为 (21/365)。马匹发病群内 AHS 个体流行率 P1 为 Pb * Pr，Hp 为当地 AHS 场群流行率，为 100%。

1.4.2 关于检测方法的数据

检测方法相关敏感性 (Se) 和特异性 (Sp) 数据如下：农场检疫所用检测方法敏感性 (Se1) 为 98%，特异性 (Sp1) 为 83.3%；隔离场检疫所用检测方法敏感性 (Se2) 为 94.7%，特异性 (Sp2) 为 99.1%；境内隔离检疫所用检测方法敏感性 (Se4) 为 95%，特异性 (Sp4) 为 92%^[20-22]。Se 和 Sp 采用 Beta 分布进行区间估计。

1.4.3 其他参数

其他所需参数值还有口岸视检发现患病动物的可能性 (Se3) 和境内隔离场检疫被抽检到的可能性 (P2)。模型各参数及参数值具体见表 1 和表 2。

表 1 马属动物基于马匹进口过程相关步骤的概率分布

模型参数	参数描述	参数值		
		最小值	最可能值	最大值
Hp	当地 AHS 场群流行率/%	100	100	100
Pr	个体流行率矫正系数	4/365	6/365	21/365
Se3	口岸视检发现患病动物的可能性/%	3	5	7
P2	境内隔离场检疫被抽检到的可能性/%	100	100	100

表 2 马属动物基于马匹进口过程相关步骤的数量分布

模型参数	参数描述	参数值	
		阳性数 (Np)	检测数 (N)
Pb	抗体阳性率/流行率	275	320
Se1	农场检疫所用检测方法敏感性	500	510
Sp1	农场检疫所用检测方法特异性	20	24
Se2	隔离场检疫所用检测方法敏感性	977	1 032
Sp2	隔离场检疫所用检测方法特异性	452	456
Se4	境内隔离检疫所用检测方法敏感性	39	41
Sp4	境内隔离检疫所用检测方法特异性	54	59

1.5 风险的模拟计算

列出风险概率公式，算出风险值。利用 Excel 建

立随机模型，用蒙特卡洛仿真技术对各分布进行仿真，模型仿真用专业风险分析软件@ Risk 进行，并

对模型进行敏感性分析，识别定量模型中起决定性作用的变量。

定量风险分析模型是利用数学语言将真实过程再现，由于实际过程的复杂性和对疫病在不同条件下传播机理认识的有限性，为确保模型逻辑严密，研究人员会根据传染病一般性传播机理和特定疫病的传播特性，对模型做一些限定，即做一些假设。根据 AHS 是一种非接触性虫媒传染病，即接触不会引起感染，而是依靠虫媒库蠓进行传播，同时马匹进口一般通过飞机运输这一特点，假定马匹进口运输途中不会感染。

(1) 1 匹患病马匹经过检疫程序后导致 AHS 传入国内的可能性 (P)：

$$P = [Hp \times P1 \times (1-Se1) \times (1-Se2) \times (1-Se3) \times (1-P2 \times Se4)] \div [Hp \times P1 \times (1-Se1) \times (1-Se2) \times (1-Se3) \times (1-P2 \times Se4) + (1-Hp \times P1) \times Sp1 \times Sp2 \times (1-P2 + P2 \times Sp4)]$$

(2) 进口 Nj 匹中至少有 1 匹马患病的可能性 [P (D+≥1)]：

$$P (D+ \geq 1) = 1 - (1-P)^{Nj}$$

2 结果与分析

2.1 马属动物进口到我国的数据分析

我国是马属动物进口国，每年都会从国外进口马属动物。自海关总署海关统计数据查询平台，查询了

我国 2015—2022 年马属动物进口数据。数据显示，我国每年从国外进口的马属动物数量较多，平均每年进口 9 889 匹马属动物，2015—2022 年内总进口 79 111 匹，进口种用马和其他马匹的数量保持相对稳定，而进口驴的数量呈先增后减的趋势。以上数据说明存在 AHS 通过马属动物进口传入我国的风险。具体见表 3。

表 3 2015—2022 年中国马属动物进口数量 匹

年份	改良种用马数量	驴数量	其他马数量	总计
2015	267	0	10 053	10 320
2016	207	2 833	8 401	11 441
2017	25	16 492	1 517	18 034
2018	34	23 966	2 016	26 016
2019	131	7 798	1 718	9 647
2020	67	1 000	567	1 634
2021	39	0	876	915
2022	0	0	1 104	1 104
总计	770	52 089	26 252	79 111

2.2 “情景树”分析

根据表 1 和表 2，结合 1.2 马属动物进口到我国的过程建立“情景树”，分析 AHS 通过马属动物进口传入我国的可能风险环节和风险因素，绘制 AHS 通过马属动物进口传入我国的风险路径图，见图 1。

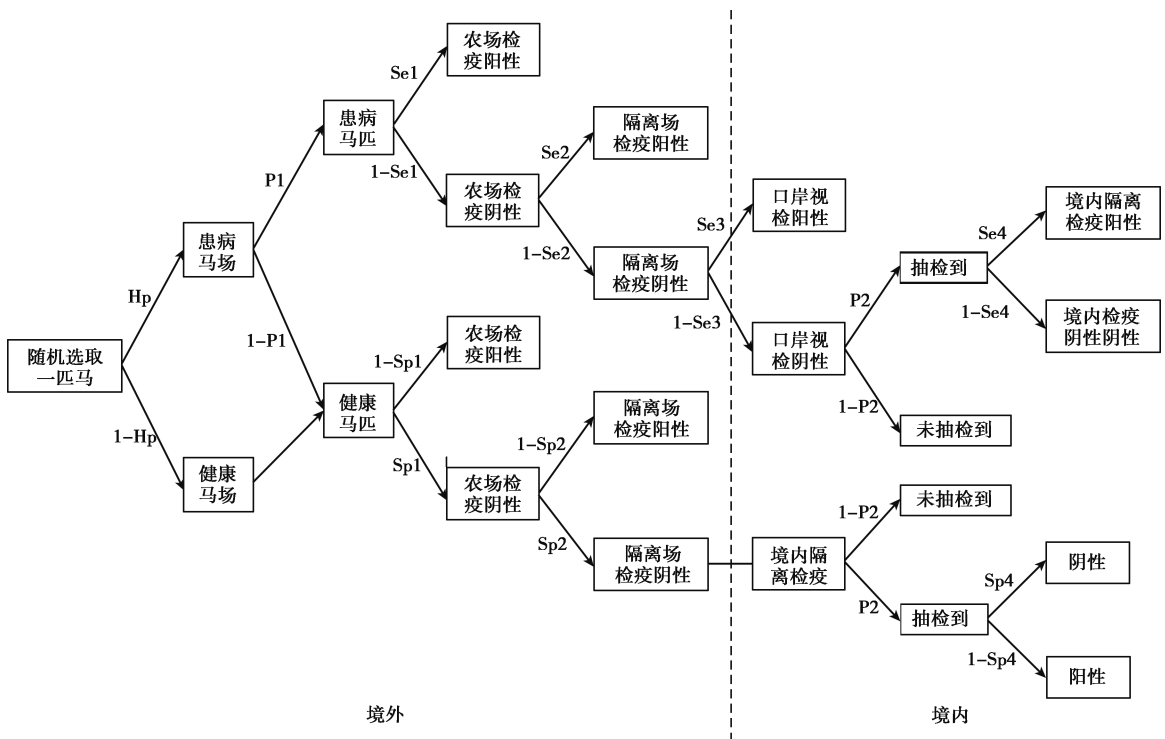


图 1 AHS 通过马属动物进口传入中国的风险路径

2.3 随机模型建立

根据获取的信息、列出的方法与工具、建立的风

险路径图获得模型参数。各参数代号、描述、计算方法等见表4。

表4 模型参数

模型参数	参数描述	分布/公式
Hp	当地 AHS 场群流行率	Pert (1, 1, 1)
Pb	抗体阳性率/流行率	Beta (275+1, 320-275+1)
Pr	个体流行率矫正系数	Pert (4/365, 6/365, 21/365)
Se1	农场检疫所用检测方法敏感性	Beta (500+1, 510-500+1)
Sp1	农场检疫所用检测方法特异性	Beta (20+1, 24-20+1)
Se2	隔离场检疫所用检测方法敏感性	Beta (977+1, 1032-977+1)
Sp2	隔离场检疫所用检测方法特异性	Beta (452+1, 456-452+1)
Se3	口岸视检发现患病动物的可能性	Pert (0.03, 0.05, 0.07)
P2	境内隔离场检疫被抽检到的可能性	Pert (1, 1, 1)
Se4	境内隔离检疫所用检测方法敏感性	Beta (39+1, 41-39+1)
Sp4	境内隔离检疫所用检测方法特异性	Beta (54+1, 59-54+1)

2.4 风险模拟计算

2.4.1 经正常检疫程序从非洲进口马匹致 AHS 传入的可能性

假设从非洲进口马匹，通过 1.5 中的模型参数和公式，利用@ Risk 风险决策软件，建立风险预测模型并进行模拟运算。蒙特卡洛仿真结果显示，通过 10 000 次迭代，AHS 通过自非洲进口马匹传入我国的风险平均值 P 为 2.13×10^{-6} (95%CI: $0.30 \times 10^{-6} \sim$

6.68×10^{-6})，即每从非洲进口一匹马，AHS 传入我国的可能性为 2.13×10^{-6} (见图 2)。

2.4.2 从非洲进口 Nj 匹马中至少有 1 匹马患病的可能性

根据 1.5 列举的公式，假设从非洲进口 1 000 匹马，则这 1 000 匹马中至少有 1 匹马患病的可能性为 $1 - (1-P)^{1000} = 0.21\%$ 。

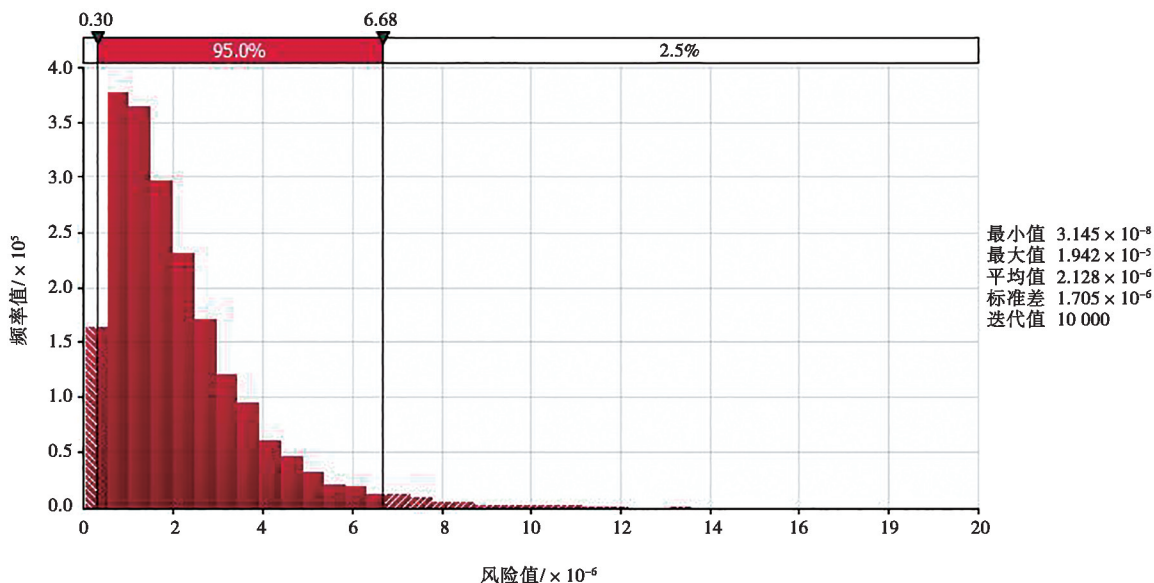


图2 AHS 通过进口马匹 (每匹) 传入我国的风险分布

2.5 敏感性分析

敏感性分析结果显示 (见图 3)，AHS 通过进口马匹传入我国的风险主要取决于进口途中的检疫、马

匹感染 AHSV 后的带毒时间及抗体阳性率/流行率 (发病群内个体流行率)。这提示我们要加强对 AHS 的检疫，尤其是检疫所用检测方法的敏感性和特异

性,提高检疫的准确率。同时发病群内的个体流行率也不容忽视,发病群内个体流行率越高,AHS传入

的概率越大。

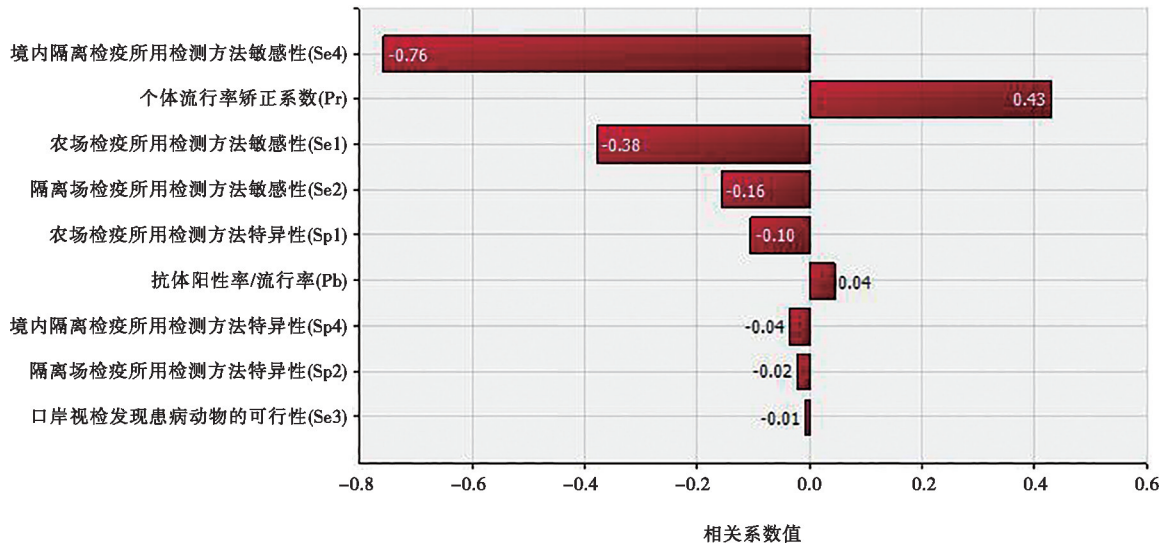


图3 AHS通过进口马匹传入我国风险的敏感性分析

3 讨论

AHS是危害马属动物的一种烈性传染病,严重影响动物健康以及动物和动物产品的国际贸易^[1,8]。目前该病在非洲撒哈拉以南地区呈地方性流行,且已在西班牙、葡萄牙、印度、巴基斯坦、阿拉伯半岛、泰国、马来西亚等国家和地区发现了动物感染和聚集性的疫情^[9,23]。有研究显示,泰国的疫情很可能起源于马属动物的进口^[24]。尽管我国目前还没有发生AHS疫情,而泰国和马来西亚暴发的疫情提醒AHS离我们其实很近^[25]。当前我国与境外许多国家开展动物和动物产品的贸易,存在国际贸易导致疫病传入的可能^[26]。因此,开展跨境动物疫病传入定量风险评估,对保障畜牧业生产安全和国家生物安全、促进对外动物和动物产品贸易具有重要意义^[17]。

21世纪以来,国外对于AHS传入定量风险评估的研究取得了一些进展。de Vos等^[27]建立随机风险模型评估AHS通过马术比赛引入荷兰的风险。研究结果表明,AHS通过马术比赛引入荷兰的风险平均值为 5.1×10^{-4} /年,风险在7月和8月最高。Faverjon等^[28]建立了随机时空模型,从输入感染动物或媒介的角度对AHS传入法国的风险进行了评估。研究结果显示,AHS进入法国的概率与季节和地理位置有关,风险最高的时期是7月至12月,最容易传入AHS的地区是法国南部和西北部地区。Grewar等^[29]对AHS通过马的合法调运传入南非AHS控制区的概率进行定量风险评估,结果显示,传入风险的概率值为0.20/年,而采取控制措施能够将传入风险降低

280%。时间和空间角度分析表明,传入季节性风险在夏季和冬末最高,南非大部分地区都存在传入风险。上述研究为AHS的传入和跨区域传播定量风险评估工作提供了参考和借鉴,也为AHS的防控提供了依据。

本研究首次从AHS通过马属动物进口传入我国的可能途径与传入概率的角度,利用“情景树”法和基于蒙特卡洛技术建立传入风险随机模型并进行仿真分析,对AHS通过马属动物进口传入我国的定量风险评估开展研究。结果显示,以目前的检疫措施从非洲进口1匹马,AHS传入我国的概率为 2.13×10^{-6} ,表明从非洲进口马匹具有AHS传入的风险,要尽量避免从AHS高发国家进口马属动物。敏感性分析的结果表明,降低风险的主要措施是提高检测方法的敏感性和特异性。因此,利用病原学、免疫学和分子生物学等科学的方法和手段开发更加敏感和特异的AHSV检测方法,对于防控AHS的传入具有重要意义。为了防止AHS传入我国,需要密切注意国外的疫情,做好进口动物检疫工作,同时也应密切注意马属动物的非法运输和贸易。

参考文献:

- [1] ASHBY M, MOORE R, KING S, et al. Designing a multiplex PCR-xMAP assay for the detection and differentiation of African horse sickness virus, serotypes 1-9 [J]. *Microorganisms*, 2024, 12 (5): 932.
- [2] MELLOR P S, HAMBLIN C. African horse sickness [J]. *Vet Res*, 2004, 35 (4): 445-466.

- [3] VILLALBA R, TENA-TOMÁS C, RUANO M J, et al. Development and validation of three triplex real-time RT-PCR assays for typing African horse sickness virus: utility for disease control and other laboratory applications [J]. *Viruses*, 2024, 16 (3): 470.
- [4] ZIENTARA S, WEYER C T, LECOLLINET S. African horse sickness [J]. *Rev Sci Tech*, 2015, 34 (2): 315-327.
- [5] 韩雪冰. 非洲马瘟及其风险控制方法 [J]. *兽医导刊*, 2020 (21): 49.
- [6] 本刊讯. 《一、二、三类动物疫病病种名录》及《三类动物疫病防治规范》发布 [J]. *中国水产*, 2022 (8): 23-26.
- [7] 陈黎红, 王建梅. 农业农村部修订并颁布新的《中华人民共和国进境动物检疫疫病名录》 [J]. *中国蜂业*, 2020, 71 (8): 11.
- [8] CARPENTER S, MELLOR P S, FALL A G, et al. African horse sickness virus: history, transmission, and current status [J]. *Annu Rev Entomol*, 2017, 62: 343-358.
- [9] HU X, XU J, WANG X, et al. Identification of three novel linear B-cell epitopes on VP7 of African horse sickness virus using monoclonal antibodies [J]. *Vet Microbiol*, 2024, 298: 110258.
- [10] MAAN N S, MAAN S, NOMIKOU K, et al. Serotype specific primers and gel-based RT-PCR assays for 'typing' African horse sickness virus: identification of strains from Africa [J]. *PLoS One*, 2011, 6 (10): e25686.
- [11] 冯之航, 张晓文, 张风荣, 等. 进境马匹非洲马瘟传入风险分析 [J]. *中国动物检疫*, 2022, 39 (4): 41-45.
- [12] 潘佳亮, 高利, 相文华, 等. 非洲马瘟病毒 VP7 蛋白的原核表达及其间接 ELISA 方法的建立 [J]. *中国兽医科学*, 2013, 43 (3): 256-260.
- [13] 孙冰冰, 陈洁, 陈凯, 等. 国际非洲马瘟疫情动态及启示 [J]. *中国动物传染病学报*, 2023, 31 (6): 216-220.
- [14] 王龙. 非洲马瘟的时空分布及流行风险研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.
- [15] 朱建波, 董国栋, 杨振兴, 等. 非洲马瘟在东南亚的暴发及其对云南马属动物的威胁 [J]. *云南畜牧兽医*, 2021 (2): 18-21.
- [16] GAO S, ZENG Z, WANG H, et al. Predicting the possibility of African horse sickness (AHS) introduction into China using spatial risk analysis and habitat connectivity of *Culicoides* [J]. *Sci Rep*, 2022, 12: 3910.
- [17] 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, 109.
- [18] 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.
- [19] KARAMALLA S T, GUBRAN A I, ADAM I A, et al. Sero-epidemiological survey on African horse sickness virus among horses in Khartoum State, Central Sudan [J]. *BMC Vet Res*, 2018, 14 (1): 230.
- [20] CÊTRE-SOSSAH C, MATHIEU B, SETIER-RIO M L, et al. Development and evaluation of a real-time quantitative PCR assay for *Culicoides imicola*, one of the main vectors of bluetongue (BT) and African horse sickness (AHS) in Africa and Europe [J]. *Res Vet Sci*, 2008, 85 (2): 372-382.
- [21] DURÁN-FERRER M, AGÜERO M, ZIENTARA S, et al. Assessment of reproducibility of a VP7 Blocking ELISA diagnostic test for African horse sickness [J]. *Transbound Emerg Dis*, 2019, 66 (1): 83-90.
- [22] EL HASNAOUI H, EL HARRAK M, TBER A, et al. Application of an indirect fluorescent antibody assay for the detection of African horse sickness virus antibodies [J]. *Arch Virol Suppl*, 1998, 14: 305-310.
- [23] CALVO-PINILLA E, JIMÉNEZ-CABELLO L, UTRILLA-TRIGO S, et al. Cytokine mRNA expression profile in target organs of IFNAR (-/-) mice infected with African horse sickness virus [J]. *Int J Mol Sci*, 2024, 25 (4): 2065.
- [24] CASTILLO-OLIVARES J. African horse sickness in Thailand: challenges of controlling an outbreak by vaccination [J]. *Equine Vet J*, 2021, 53 (1): 9-14.
- [25] ROBIN M, PAGE P, ARCHER D, et al. African horse sickness: the potential for an outbreak in disease-free regions and current disease control and elimination techniques [J]. *Equine Vet J*, 2016, 48 (5): 659-669.
- [26] 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.
- [27] DE VOS C J, HOEK C A, NODELIJK G. Risk of introducing African horse sickness virus into the Netherlands by international equine movements [J]. *Prev Vet Med*, 2012, 106 (2): 108-122.
- [28] FAVERJON C, LEBLOND A, LECOLLINET S, et al. Comparative risk analysis of two *Culicoides*-borne diseases in horses: equine encephalosis more likely to enter France than African horse sickness [J]. *Transbound Emerg Dis*, 2017, 64 (6): 1825-1836.
- [29] GREWAR J D, KOTZE J L, PARKER B J, et al. An entry risk assessment of African horse sickness virus into the controlled area of South Africa through the legal movement of equids [J]. *PLoS One*, 2021, 16 (5): e0252117.