

瑞雪, 张云航, 李杨, 等. 猪内源性逆转录病毒三重实时荧光定量 PCR 检测方法的建立 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (9): 66-72.

RUI X, ZHANG Y H, LI Y, et al. Establishment of a triple real-time fluorescence quantitative PCR assay for porcine endogenous retroviruses [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (9): 66-72.

猪内源性逆转录病毒三重实时荧光定量 PCR 检测方法的建立

瑞雪^{1,2,3}, 张云航^{2,3}, 李杨^{2,3}, 谭晨^{2,3}, 蔡艺菲^{2,3}, 刘园园^{1,2,3},
曹宗喜^{1,2}, 张艳^{1,2}, 孙瑞萍^{1,2}, 刘光亮^{1,2,3*}

(1. 新疆农业大学动物医学学院, 新疆 乌鲁木齐 830000;

2. 海南省农业科学院畜牧兽医研究所 海南省热带动物繁育与疫病研究重点实验室, 海南 海口 571100;

3. 中国农业科学院兰州兽医研究所/动物疫病防控全国重点实验室, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 旨在建立同时检测猪内源性逆转录病毒 (porcine endogenous retrovirus, PERV) 3 种亚型的多重荧光定量 PCR 方法。扩增 PERV 囊膜基因 *env*, 构建重组质粒 pMD-PERV-A、pMD-PERV-B、pUC-PERV-C 作为标准品, 建立了三重实时荧光定量 PCR (RT-qPCR) 方法标准曲线, 并对该方法进行特异性、敏感性及重复性试验验证。结果: 重组质粒标准品的拷贝数与 Ct 值呈良好的线性关系, PERV-A、PERV-B 和 PERV-C 分别为: $y = -3.363x + 39.923$, $R^2 = 0.993$, 扩增效率 (E) = 98.3%; $y = -3.546x + 41.090$, $R^2 = 0.997$, $E = 91.4%$; $y = -3.559x + 40.618$, $R^2 = 0.998$, $E = 91%$ 。特异性试验结果显示该方法能特异性检测 PERV, 而对猪流行性腹泻病毒、猪传染性胃肠炎病毒、猪瘟病毒、猪繁殖与呼吸综合征病毒均无交叉反应; 三重 RT-qPCR 敏感性均可达到 1×10^2 copies/ μ L; 批内及批间重复性试验变异系数均小于 2%。使用该方法对 107 份五指山猪组织样品进行临床样品的检测, 经过与传统检测方法进行对比, PERV-A、PERV-B、PERV-C 阳性符合率分别为 100%、100%、97.5%。综上, 本试验所建立的检测方法能够同时定量分析 PERV-A、PERV-B、PERV-C 这 3 种亚型, 且有较高的检测效率, 能够为异种移植供体筛选提供前期的技术支持。

关键词: 猪内源性逆转录病毒; 囊膜基因; 荧光定量 PCR; TaqMan 探针

中图分类号: S852 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2025)09-0066-07

Establishment of a triple real-time fluorescence quantitative PCR assay for porcine endogenous retroviruses

RUI Xue^{1,2,3}, ZHANG Yunhang^{2,3}, LI Yang^{2,3}, TAN Chen^{2,3}, CAI Yifei^{2,3}, LIU Yuanyuan^{1,2,3},
CAO Zongxi^{1,2}, ZHANG Yan^{1,2}, SUN Ruiping^{1,2}, LIU Guangliang^{1,2,3*}

(1. College of Veterinary Medicine, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830000, China;

2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Hainan Academy of Agricultural Sciences/
Hainan Province Key Laboratory of Tropical Animal Breeding and Disease Research, Haikou 571100, China;

3. Lanzhou Veterinary Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/
State Key Laboratory for Animal Disease Control and Prevention, Lanzhou 730030, China)

Abstract: In order to establish a multiplex fluorescence quantitative PCR method for the simultaneous detection of three subtypes of porcine endogenous retrovirus (PERV) and amplification of its environmental *env* gene, recombinant plasmids pMD-PERV-A, pMD-PERV-B, and pUC-PERV-C were constructed to serve as standards. The standard curve of the triple real-time fluorescence quantitative PCR method was established using this recombinant plasmid, and the qPCR method for the detection of PERV-A, PERV-B, and PERV-C was established by optimizing the reaction conditions. The results were that the copy number of the recombinant plasmid standards showed a good linear relationship with Ct values. For PERV-A, PERV-B, and PERV-C, the relationships were as follows: PERV-A: $y = -3.363x + 39.923$, $R^2 = 0.993$, $E = 98.3%$, PERV-B: $y = -3.546x + 41.090$, $R^2 = 0.997$, $E = 91.4%$, PERV-C: $y = -3.559x + 40.618$, $R^2 = 0.998$, and

收稿日期: 2024-11-07; 修回日期: 2025-07-19

基金项目: 科技部重点研发计划前沿生物技术专项课题项目 (2021YFA0805905); 海南省重大科技计划项目 (ZDKJ2021030); 国家重点研发计划课题项目 (2023YFC3404302)

第一作者: 瑞雪, 女, 硕士研究生

* 通信作者: 刘光亮, 博士, 研究员, 研究方向为动物疫苗与分子免疫学, E-mail: LiuGuangliang01@caas.cn.

$E=91\%$ 。The results of the specificity test showed that the method was able to specifically detect PERV, and there was no cross-reactivity to PRV. The coefficient of variance of the intergroup and intragroup reproducibility tests using three different concentrations of recombinant plasmid standards as templates were all less than 2%. When the templates were prepared from the three PRRSV, TGEV, PEDV, and CSFV, the sensitivity of the three isoforms was 1×10^1 copies/ μL for single-quantitative RT-qPCR, and the sensitivity of the triple-quantitative fluorescent assay was 1×10^2 copies/ μL for triple-quantitative fluorescent assay. 107 Wuzhishan pig tissue samples were tested for clinical samples, and after comparison with the traditional testing methods, the positive compliance rates of PERV-A, PERV-B, and PERV-C were 100%, 100%, and 97.5%, respectively. In conclusion, the assay established in this experiment was capable of detecting the three isoforms of PERV-A, PERV-B and PERV-C at the same time, and resulted in a high detection efficiency, which may serve as technical support for the screening of xenotransplantation donors in the early stage.

Keywords: porcine endogenous retrovirus; *env* gene; real-time fluorescence quantitative PCR; TaqMan probe

猪-人异种移植是克服人类同种异体移植供体短缺的一种有效策略^[1], 猪器官在结构、大小和生理功能上与人体器官相近, 而且可避免灵长类动物作为异种供体源的伦理问题, 被认为是人体异种器官来源以及异种细胞再生的首选动物^[2]。将正常的猪器官移植至病人体内, 会出现一系列的免疫排斥反应, 如超急性排斥反应、急性血管性排斥反应和慢性排斥反应等^[3]。2022年, 一名人类患者接受了首例转基因猪心脏移植手术^[4]。不幸的是, 在患者血液中发现猪巨细胞病毒(PCMV), 证实病毒传播难以预防^[5-6]。虽然无特定病原体(SPF)育种可以明显消除大多数猪病毒, 但猪内源性逆转录病毒(PERV)以前病毒DNA的形式整合在猪基因组中^[7-8]。目前, PERV主要分为3种亚型, 即PERV-A、PERV-B和PERV-C, 其中PERV-A、PERV-B的宿主感染范围较大^[9], 不仅存在于所有猪的基因组中, 也可以感染非猪的动物或细胞, 包括体外培养的人类细胞系^[10]。PERV-C是一种共嗜性病毒, 仅感染猪细胞^[11], 但可能与PERV-A亚型重组为PERV-A/C重组体, 表现出高滴度复制^[12]。尽管目前尚无研究表明PERV在临床中传播给人类, 但已证明PERV可以感染人类细胞并在细胞培养物中整合到人类基因组中^[13], 如其他逆转录病毒所报道的那样, PERV整合可能会导致免疫缺陷和肿瘤发生^[14]。PERV-A、PERV-B和PERV-C这3种亚型不易进行区分, 目前还没有可以一次性检测、鉴别和定量3种亚型的方法, 迅速和可靠地区分这3种亚型对于异种移植供体筛选是非常必要的^[15-16]。由于实时定量聚合酶链式反应(RT-qPCR)具有灵敏度高、特异性高、操作简单等优点, 因此, 本研究建立了一种快速、特异、灵敏并能够同时检测、鉴别和定量分析PERV-A、PERV-B、PERV-C这3种亚型的三重RT-qPCR方法, 以期应用于PERV临床监测及供体筛选工作。

1 材料与方法

1.1 试验材料

在海南省五指山猪国家级原种场保种核心群中随机挑选107头猪, 采集肝脏16份、肺28份、心28份、肾21份及外周血14份, 液氮速冻, $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存备用。猪传染性胃肠炎病毒(TGEV)、猪流行性腹泻病毒(PEDV)、猪瘟病毒(CSFV)、猪繁殖和呼吸障碍综合征病毒(PRRSV)RNA均保存于海南省农业科学院畜牧兽医研究所。

1.2 主要试剂及仪器

DNA/RNA Extraction Kit、HiScriptII Q RT Super Mix for qPCR (+gDNAwiper) 购自南京诺唯赞生物科技股份有限公司; 大肠杆菌DH5 α 感受态细胞、pMD18-T载体、pUC57载体、DNA Marker均购自宝生物工程(大连)有限公司(TaKaRa); *EcoR* I限制性内切酶、*ScaI*-HF限制性内切酶购自广州真知生物科技有限公司; 凝胶纯化试剂盒购自Omega公司; TransStart[®] Probe qPCR SuperMix、质粒提取试剂盒购自全式金公司; RNA极速抽提试剂盒购自上海飞捷生物有限公司。PCR扩增仪、PowerPacBasic电泳仪、凝胶成像分析仪器、CFX96TMRReal-TimeSystem为Bio-Rad公司产品。

1.3 引物设计

根据目前PERV囊膜基因*env*分型方法^[17-18], 从GenBank上下载*env*-A(EU086225.1)、*env*-B(AF014162.1)和*env*-C(AM229313.1)基因序列, 利用Malign软件比对并找出各*env*基因序列中亚型特异性的保守区域, 利用Oligo7软件设计荧光定量特异性引物和TaqMan探针, 引物和探针均由广州擎科生物工程有限公司合成, 引物和TaqMan探针序列信息见表1。

表 1 引物及探针序列

名称	引物及探针序列 (5'→3')	片段大小/bp
PERV-A-F	AGTCCTACCAGTTATAATCAAT	116
PERV-A-R	TCTAGATCTAACGAATTACAGC	116
PERV-A-Taq	FAM-CATGGGAGATGGAAAGATTGGCAAC-BHQ1	
PERV-B-F	CGCATAACTTGCCGGTGCCCAATT	117
PERV-B-R	GAACACCTGGGGAGTTTCTAGG	117
PERV-B-Taq	HEX-CCTCGCTGCCGCCTGACATAACACA-TAMRA	
PERV-C-F	CCTCTCAGCAGGATAGGCTAAG	107
PERV-C-R	AGGAGAGCACTTGGGGCTTCCA	107
PERV-C-Taq	Cy5-CTTATGTCAACACCTATACCAGCTC-BHQ2	

1.4 病毒 RNA 的提取与反转录

按照 RNA 提取试剂盒说明书步骤提取五指山猪基因组 RNA, 将 RNA 反转录为 cDNA, 于 -80 °C 保存备用。反转录体系: 模板 RNA 1 μg, 4 × gDNA wiper Mix 4 μL 加 RNase-free ddH₂O 至 16 μL, 42 °C 2 min, 5 × HiScript II qRT super Mix II 4 μL; 反转录反应程序: 50 °C 15 min, 85 °C 5 s。

1.5 重组质粒标准品的制备

使用 DNA 提取试剂盒提取五指山猪基因组 DNA, 将获得的 DNA 作为模板, 利用设计的特异性引物进行 PCR 扩增, 在 25 μL 体系里按照比例加入 2 × Taq Plus Master Mix 12.5 μL, 上游引物 (10 μmol/L) 1 μL, 下游引物 (10 μmol/L) 1 μL, DNA 1 μL, DEPC 水 9.5 μL。PCR 扩增程序: 95 °C 3 min; 95 °C 15 s, 57.5 °C 15 s, 72 °C 15 s, 35 个循环; 72 °C 5 min。PCR 扩增程序结束后进行琼脂糖凝胶电泳鉴定, 使用 Omega 凝胶纯化试剂盒对 3 种亚型的 env 基因 PCR 扩增产物回收并纯化, 分别与 pMD-18T、pUC57 载体连接, 转化至 DH5α 大肠杆菌感受态, 将菌液送至广州擎科生物工程有限公司测序鉴定。对验证后的重组质粒分别命名 pMD-PERV-A、pMD-PERV-B、pUC57-PERV-C, 根据全式金质粒提取试剂盒说明书提取质粒, 并使用限制性内切酶 *EcoR* I、*ScaI*-HF 进行单酶切, 制备出线性化标准品, PERV-A、PERV-B 单酶切体系: *EcoR* I 1 μL, 10 × MBuffer 2 μL, pMD-PERV-A 质粒、pMD-PERV-B 质粒 ≤ 1 μg, DEPC 水补齐至 20 μL。PERV-C 单酶切体系: *ScaI*-HF 1 μL, 10 × MBuffer 2 μL, pMD-PERV-C 质粒 ≤ 1 μg, DEPC 水补齐至 20 μL; 酶切产物使用超微量核酸蛋白测定仪测定其浓度后置于 -20 °C 保存。

1.6 三重 RT-qPCR 反应条件优化及标准曲线的建立

对三重 RT-qPCR 的引物用量、探针用量和退火

温度进行优化。使用优化后的条件对 3 种亚型重组质粒标准品分别按梯度稀释为 10⁷ ~ 10¹ copies/μL 作为阳性模板, DEPC 为阴性对照, 进行三重 RT-qPCR 扩增, FAM 通道为 PERV-A, HEX 通道为 PERV-B, CY5 通道为 PERV-C, 并分析绘制扩增曲线和标准曲线。

1.7 三重 RT-qPCR 特异性试验

按照总 RNA 极速抽提试剂盒说明书提取 PEDV、TGEV、CSFV、PRRSV 的 RNA 后, 反转录为 cDNA。使用获得的 cDNA 进行 PCR 扩增, 同时以 DEPC 水作为阴性对照, 以验证检测方法的特异性。

1.8 三重 RT-qPCR 敏感性试验

选取混合标准质粒浓度梯度为 1 × 10⁷ ~ 1 × 10¹ copies/μL 的标准模板作为阳性模板, 以 DEPC 为阴性对照模板, 对所建立的三重 RT-qPCR 方法的灵敏度进行检测。

1.9 三重 RT-qPCR 重复性试验

选取 1 × 10⁶、1 × 10⁵、1 × 10⁴ 这 3 个稀释浓度的重组质粒标准品进行批内和批间重复性试验。将 3 种亚型重组质粒标准品设 3 个重复按照优化后的反应条件在同一时间进行批内重复性试验; 每隔 3 d 按照优化的反应条件对 3 种亚型重组质粒标准品进行 3 次重复性试验, 计算批内和批间的变异系数, 以评估所建方法的重复性。

1.10 临床样品检测

利用建立的 PERV 三重 RT-qPCR 方法与普通 PCR 方法^[17]对 107 份五指山猪样品进行 PERV 检测, 对检测结果进行统计分析并对比 2 种方法的阳性符合率。

2 结果与分析

2.1 三重 RT-qPCR 反应条件优化及标准曲线的建立

经过优化, 确定的该方法反应体系如表 2 所示。

反应程序：94 ℃ 30 s；94 ℃ 5 s，61.7 ℃ 30 s，40个循环。将 pMD-PERV-A、pMD-PERV-B、pUC57-PERV-C 重组质粒标准品 10 倍稀释后作为模板，经三重实时荧光定量 PCR 扩增结果见图 1。标准曲线方程分别为： $y = -3.363x + 39.923$ ， $R^2 = 0.993$ ，扩增效率 (E) = 98.3%； $y = -3.546x + 41.090$ ， $R^2 = 0.997$ ， $E = 91.4%$ ； $y = -3.559x + 40.618$ ， $R^2 = 0.998$ ， $E = 91%$ 。

表 2 引物及探针浓度

名称	引物浓度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	探针浓度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	退火温度/℃
PERV-A	0.40	0.35	61.7
PERV-B	0.40	0.30	61.7
PERV-C	0.35	0.30	61.7

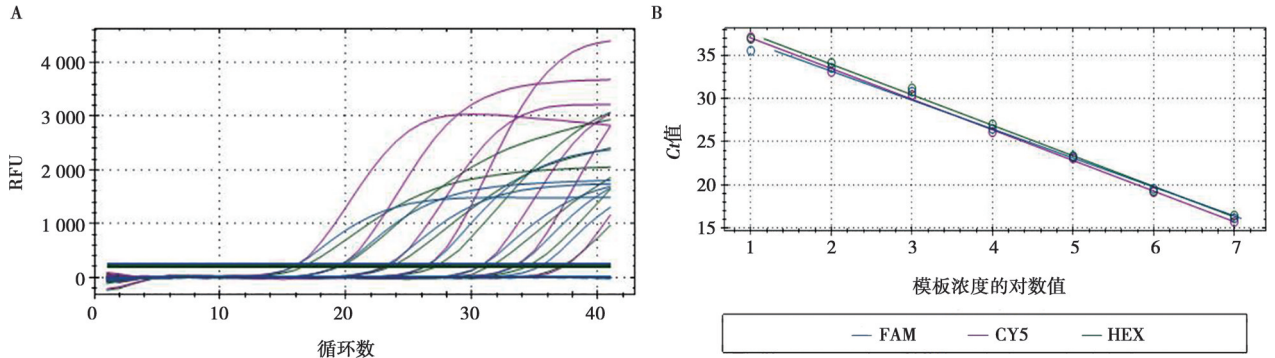
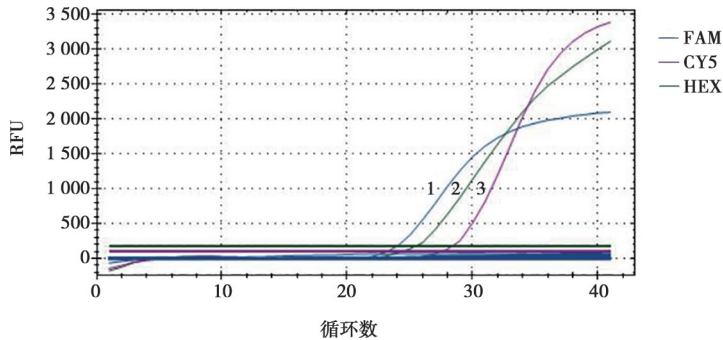


图 1 PERV-A、PERV-B、PERV-C 三重 RT-qPCR 扩增曲线 (A) 及标准曲线 (B)

2.2 三重 RT-qPCR 特异性试验

以 pMD-PERV-A、pMD-PERV-B、pUC57-PERV-C 及 PEDV、TGEV、CSFV、PRRSV 的 cDNA 为模板，使用优化后建立的三重 RT-qPCR 方法进行

检测。如图 2，仅有阳性对照 pMD-PERV-A、pMD-PERV-B、pUC57-PERV-C 分别在 FAM、HEX、CY5 通道出现特异性扩增曲线，其余样品在 FAM、CY5 通道均无特异性曲线。



1. pMD-PERV-A; 2. pMD-PERV-B; 3. pUC57-PERV-C。

图 2 三重 RT-qPCR 特异性

2.3 三重 RT-qPCR 敏感性试验

取 pMD-PERV-A、pMD-PERV-B、pUC57-PERV-C 阳性质粒标准品 ($1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^1$ copies/ μL) 7 个不同的稀释浓度进行检测，结果显示 3 种亚型的最低检测限均为 1×10^2 copies/ μL (图 3)。

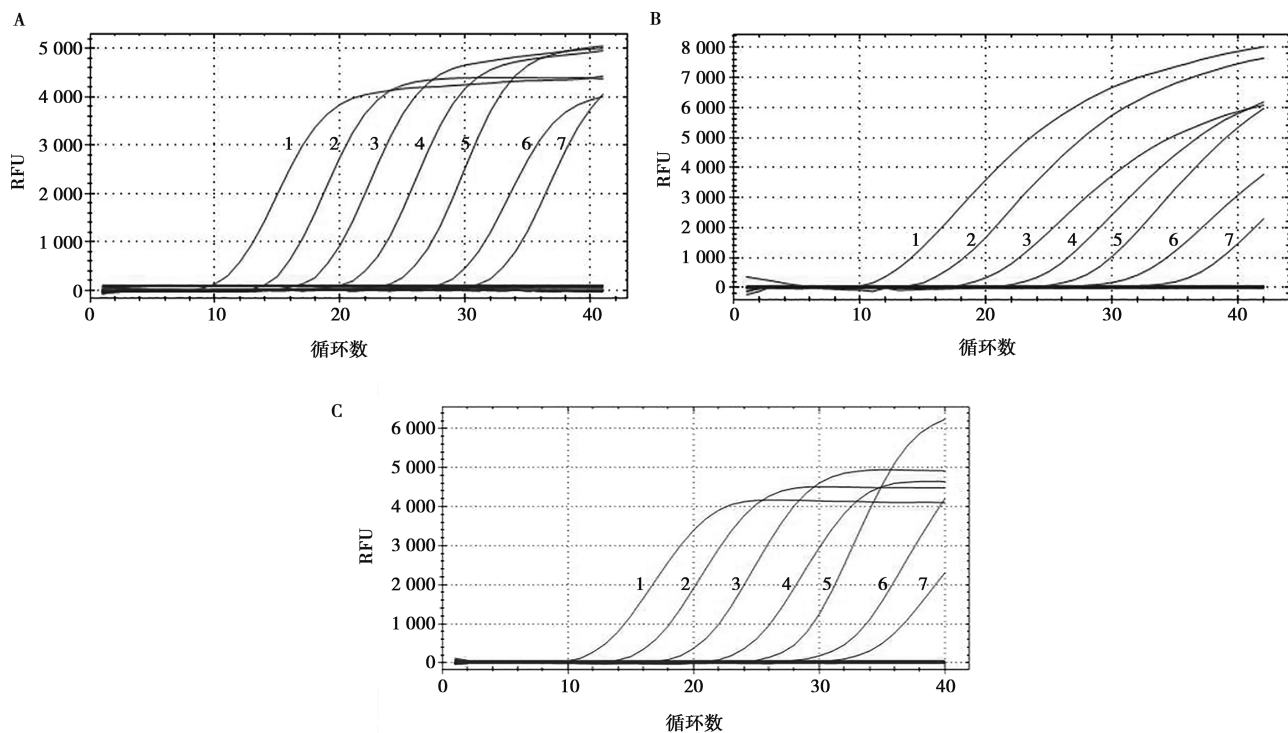
2.4 三重 RT-qPCR 重复性试验

分别选取 1×10^6 、 1×10^5 、 1×10^4 copies/ μL 这 3 个浓度的 pMD-PERV-A、pMD-PERV-B、pUC57-PERV-C 标准品为模板进行扩增。结果见表 3，

PERV 这 3 种亚型的批内和批间变异系数均在 2% 以内，说明本试验建立的 PERV 三重 RT-qPCR 检测方法的重复性良好。

2.5 临床样品的检测

如表 4 所示，3 种亚型三重 RT-qPCR 检测与普通 PCR 检测的阳性符合率分别为 100%、100%、97.5%。表明本试验所建立的方法不仅可对 PERV 临床检测提供快速、高效的检测方法，而且可对 PERV 进行分型和定量，具有良好的应用价值。



1~7 分别为质粒浓度 $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^1$ copies/ μL 。

图3 pMD-PERV-A (A)、pMD-PERV-B (B)、pUC57-PERV-C (C) 的三重 RT-qPCR 敏感性

表3 三重 RT-qPCR 重复性

病毒名称	标准品/ (copies · μL^{-1})	批内重复		批间重复	
		Ct 值	变异系数/%	Ct 值	变异系数/%
PERV-A	1×10^6	19.16±0.10	0.5	18.59±0.48	1.9
	1×10^5	23.46±0.27	1.1	23.02±0.78	0.3
	1×10^4	26.78±0.20	0.8	26.33±0.12	0.5
PERV-B	1×10^6	19.18±0.09	0.5	18.47±0.08	0.4
	1×10^5	25.51±0.27	1.0	24.76±0.16	0.6
	1×10^4	27.13±0.11	0.4	28.11±0.13	0.5
PERV-C	1×10^6	19.03±0.12	0.6	19.08±0.40	1.8
	1×10^5	24.93±0.28	1.1	23.54±0.12	0.5
	1×10^4	26.28±0.18	0.7	28.16±0.32	1.1

表4 三重 RT-qPCR 与普通 PCR 检测方法结果符合率

病毒名称	三重 RT-qPCR 检测方法		普通 PCR 方法		阳性符合率/%
	阳性数/样本量	阳性率/%	阳性数/样本量	阳性率/%	
PERV-A	107/107	100	107/107	100	100
PERV-B	107/107	100	107/107	100	100
PERV-C	40/107	37.3	39/107	36.4	97.5

3 讨论

器官移植是目前治疗各类终末期疾病的有效手

段，世界范围内许多国家存在着供体短缺的问题。随着免疫抑制药物研究和基因修饰供体动物的快速发展，异种器官移植可以给多种疾病治疗中提供所需要

的细胞、组织和器官，将猪源器官异种移植到非人灵长类动物模型后，移植物可以存活数月甚至数年，PERV 体外研究发现部分亚型可以感染人源细胞，并且 PERV 在猪基因组中存在大量的整合位点，具有高度多态性的 PERV 原病毒可以嵌入 10~100 个拷贝^[19]，因此猪源组织器官异种移植到人体存在生物安全风险，应当对供体猪体内 PERV 活性进行实时监测可以提前预测并防范该风险。Wilson 等^[20]发现逆转录病毒之间的重组可能导致使另一受体发生重组，并且具有更高的致病性。由 *env-A* 和 *env-C* 两段基因的部分区域可以发生重组形成一种新的亚型 PERV-A/C，不仅能够感染人的细胞并表现出高滴度复制，且感染能力强于 PERV-A 亚型^[7]。为了能够保证临床异种移植的安全性，在供体猪的选择上应排除含有 PERV-C 的供体猪，防止出现 PERV-A/C 重组体传播给人类造成不必要的危害^[21]。Sypniewski^[22]等在 2005 年就通过设计 PERV *gag* 序列高度保守片段的特异性引物和探针来检测 PERV 拷贝数和基因型，使用 RT-qPCR 方法研究 PERV 亚型分布。然而，目前还没有可以一次性检测、鉴别和定量检测这 3 种亚型的检测方法。

本研究以 PERV *env* 基因设计特异性引物及探针，成功建立了能够同时检测分型、定量分析 PERV-A、PERV-B、PERV-C 的三重 RT-qPCR 方法。在本试验开展前，建立了 PERV 3 种亚型的单重 RT-qPCR 检测方法，敏感性均为 1×10^1 copies/ μ L，而三重 RT-qPCR 方法对 3 种亚型检测的敏感性均为 1×10^2 copies/ μ L，可能是由于不同序列之间对通用试剂、引物的竞争导致的敏感性降低。卢天宇等^[23]采用双重荧光 TaqMan 探针，分别以甘油醛-3-磷酸脱氢酶 (GAPDH) 和转铁蛋白受体 (TFRC) 作为内参基因，建立的微滴式数字 PCR 检测方法对巴马小型猪基因组 DNA 中的 PERV 拷贝数进行批内和批间试验的变异系数在 0.44% 至 8.29% 之间，而本方法批内及批间重复试验的变异系数均低于 2%，具有更好的重复性。使用该方法对 107 份五指山猪组织样品进行检测，经过与普通 PCR 检测方法进行对比来评估本试验建立的检测方法的实用性和准确性，结果显示，PERV-A、PERV-B、PERV-C 阳性符合率分别为 100%、100%、97.5%。

综上所述，一方面本研究建立的三重 RT-qPCR 方法具有较强的应用性，为猪内源性逆转录病毒的快速诊断和流行病学调查提供了必要的技术支持；另一方面也表明 PERV 在海南省五指山小型猪部分群体中是存在的，而小型猪的近亲繁殖可能是 PERV 拷贝数增加的原因之一，因此在选择五指山小型猪作为异种

移植供体之前还需对其进行监测。

参考文献:

- [1] PATEL M S, LOURAS N, VAGEFI P A. Liver xenotransplantation [J]. *Curr Opin Organ Transplant*, 2017, 22 (6): 535-540.
- [2] 张玄, 王琳, 张洪涛, 等. 多基因编辑猪-猴心脏、肝脏、肾脏移植临床前研究初步报道 [J]. *器官移植*, 2021, 12 (1): 51-56.
- [3] COOPER D K C, HARA H, IWASE H, et al. Justification of specific genetic modifications in pigs for clinical organ xenotransplantation [J]. *Xenotransplantation*, 2019, 26 (4): e12516.
- [4] PIERSON R N 3rd. Progress toward pig-to-human xenotransplantation [J]. *N Engl J Med*, 2022, 386 (20): 1871-1873.
- [5] GRIFFITH B P, GOERLICH C E, SINGH A K, et al. Genetically modified porcine-to-human cardiac xenotransplantation [J]. *N Engl J Med*, 2022, 387 (1): 35-44.
- [6] FISHMAN J A. Risks of infectious disease in xenotransplantation [J]. *N Engl J Med*, 2022, 387 (24): 2258-2267.
- [7] COZZI E, SCHNEEBERGER S, BELLINI M I, et al. Organ transplants of the future: planning for innovations including xenotransplantation [J]. *Transpl Int*, 2021, 34 (11): 2006-2018.
- [8] 马玲, 钟华, 秦树英, 等. 广西巴马小型猪内源性反转录病毒整合后传代次数对 HEK293 细胞中 HERV-W 表达和变异的影响 [J]. *中国兽医学报*, 2020, 40 (10): 1918-1923.
- [9] FISHMAN J A. Risks of infectious disease in xenotransplantation [J]. *N Engl J Med*, 2022, 387 (24): 2258-2267.
- [10] TAKEUCHI Y, PATIENCE C, MAGRE S, et al. Host range and interference studies of three classes of pig endogenous retrovirus [J]. *J Virol*, 1998, 72 (12): 9986-9991.
- [11] DENNER J. Virus safety of xenotransplantation [J]. *Viruses*, 2022, 14 (9): 1926.
- [12] NIU D, WEI H J, LIN L, et al. Inactivation of porcine endogenous retrovirus in pigs using CRISPR-Cas9 [J]. *Science*, 2017, 357 (6357): 1303-1307.
- [13] MEIER R P H, LONGCHAMP A, MOHIUDDIN M, et al. Recent progress and remaining hurdles toward clinical xenotransplantation [J]. *Xenotransplantation*, 2021, 28 (3): e12681.
- [14] KRÜGER L, BÖTTGER J, HUANG C A, et al. Absence of porcine endogenous retrovirus (PERV) production from pig lymphoma cell lines [J]. *Virus Res*, 2021, 295: 198286.
- [15] 曾嘉庆, 高岩, 仇相书, 等. 猪逆转录病毒 SYBR Green I 荧光定量 PCR 检测方法的建立及应用 [J]. *中国病原生物学杂志*, 2022, 17 (1): 26-30.
- [16] PISANO M P, GRANDI N, TRAMONTANO E. High-throughput sequencing is a crucial tool to investigate the contribution of human endogenous retroviruses (HERVs) to human biology and development [J]. *Viruses*, 2020, 12 (6): 633.
- [17] 徐斯日古楞, 吕茂民, 吴健敏, 等. 中国巴马小型猪内源性反转录病毒的检测 [J]. *动物医学进展*, 2003, 24 (6): 79-81.
- [18] DENNER J. Porcine endogenous retroviruses and xenotransplantation, 2021 [J]. *Viruses*, 2021, 13 (11): 2156.
- [19] KAULITZ D, MIHICA D, PLESKER R, et al. Absence of infection in pigs inoculated with high-titre recombinant PERV-A/C

[J]. Arch Virol, 2011, 156 (4): 707-710.

[20] WILSON C A, WONG S, VANBROCKLIN M, et al. Extended analysis of the in vitro tropism of porcine endogenous retrovirus [J]. J Virol, 2000, 74 (1): 49-56.

[21] CARRIER A N, VERMA A, MOHIUDDIN M, et al. Xenotransplantation: a new era [J]. Front Immunol, 2022, 13: 900594.

[22] SYPNIEWSKI D, MACHNIK G, MAZUREK U, et al. Distribution of porcine endogenous retroviruses (PERVs) DNA in organs of a domestic pig [J]. Ann Transplant, 2005, 10 (2): 46-51.

[23] 卢天宇, 高虹, 杨博超, 等. 基于微滴式数字 PCR 技术对猪内源逆转录病毒拷贝数的检测方法的建立及应用 [J]. 中国比较医学杂志, 2021, 31 (9): 90-97.

· 信息 ·

21 种畜牧、兽医科学类中国科技核心期刊中《畜牧与兽医》综合评价总分排名第九位

《2024 年版中国科技期刊引证报告（核心版）自然科学卷》以《中国科技论文与引文数据库》（CSTPCD）为基础，采用科学客观的研究方法与评价方式，遴选中国自然科学领域各学科分类重要期刊作为统计来源期刊。2024 年版引证报告共收录了在中国（不含港澳台地区）正式出版的 1 998 种中文期刊和 167 种英文期刊，其中畜牧、兽医科学类期刊共收录 21 种，包括 19 本中文期刊和 2 本英文期刊，《畜牧与兽医》综合评价总分排名第九位。21 种期刊主要指标详见附表。

附表 2023 年畜牧、兽医科学类期刊主要指标

序号	刊名	核心总被引频次			核心影响因子			综合评价总分		学科扩 散指标	学科影 响指标	红点 指标
		数值	排名	离均差率	数值	排名	离均差率	数值	排名			
1	ANIMAL NUTRITION	951	15	-0.49	1.612	2	0.65	51.9	2	6.52	0.81	0.25
2	JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY	1 123	13	-0.40	1.403	4	0.44	46.8	4	6.48	0.81	0.08
3	蚕业科学	627	19	-0.66	0.660	16	-0.32	34.3	13	7.19	0.43	0.25
4	动物医学进展	1 522	9	-0.19	0.670	15	-0.31	41.7	8	16.05	0.90	0.52
5	动物营养学报	7 671	1	3.11	1.990	1	1.04	78.4	1	16.33	1.00	0.82
6	家畜生态学报	1 158	12	-0.38	0.643	17	-0.34	34.6	12	8.90	0.95	0.54
7	经济动物学报	215	21	-0.88	0.510	20	-0.48	26.6	19	3.71	0.71	0.53
8	粮食与饲料工业	807	16	-0.57	0.618	19	-0.37	28.3	18	7.81	0.57	0.22
9	饲料工业	2 549	6	0.36	1.529	3	0.57	45.6	5	11.00	0.90	0.73
10	饲料研究	3 500	3	0.87	1.202	6	0.23	32.2	16	13.43	0.95	0.70
11	畜牧兽医学报	2 563	5	0.37	1.060	8	0.09	44.1	7	12.14	0.95	0.59
12	畜牧与兽医	1 484	11	-0.21	0.730	14	-0.25	39.1	9	9.48	0.86	0.57
13	畜牧与饲料科学	797	17	-0.57	0.620	18	-0.37	36.8	11	8.14	0.86	0.47
14	中国动物传染病学报	648	18	-0.65	0.821	11	-0.16	24.7	20	5.33	0.76	0.56
15	中国家禽	1 966	7	0.05	0.911	10	-0.07	33.6	15	7.71	0.95	0.56
16	中国兽药杂志	572	20	-0.69	0.462	21	-0.53	23.6	21	7.95	0.76	0.25
17	中国兽医科学	1 102	14	-0.41	0.772	12	-0.21	33.8	14	8.05	0.86	0.57
18	中国兽医学报	1 808	8	-0.03	0.761	13	-0.22	37.4	10	11.38	0.95	0.56
19	中国畜牧兽医	3 121	4	0.67	1.004	9	0.03	45.3	6	15.29	0.95	0.65
20	中国畜牧杂志	3 551	2	0.90	1.189	7	0.22	47.4	3	12.95	1.00	0.63
21	中国预防兽医学报	1 484	10	-0.21	1.338	5	0.37	31.0	17	6.52	0.81	0.47
21 种期刊平均值		1 868			0.976							

注：数据来自中国科学技术信息研究所《2024 年版中国科技期刊引证报告（核心版）自然科学卷》。