

doi:10. 11751/ISSN. 1002 – 1280. 2022. 12. 10

猪口蹄疫特点、流行情况及疫苗使用现状

马建荣,李芳韬,邹兴启,赵启祖,朱元源*

(中国兽医药品监察所 国家/WOAH 猪瘟参考实验室,北京 100081)

[收稿日期] 2022 – 05 – 16 [文献标识码]A [文章编号]1002 – 1280 (2022) 12 – 0075 – 07 [中图分类号]S852. 65

[摘 要] 口蹄疫是危害我国畜牧业的主要传染病之一,主要感染猪、牛、羊等偶蹄动物,其中猪口蹄疫不同于牛、羊口蹄疫,有其独特特点。本文聚焦猪口蹄疫,从其特点、全球流行情况以及我国疫苗使用现状等方面进行了阐述和分析,以期为我国猪口蹄疫防控提供参考。

[关键词] 口蹄疫;猪;流行态势;疫苗

Characteristics and Prevalence of Swine Foot – and – mouth Disease and Status of Vaccine Use

MA Jian – rong, LI Fang – tao, ZOU Xing – qi, ZHAO Qi – zu, ZHU Yuan – yuan*

(China Institute of Veterinary Drug Control, National/WOAH Reference Laboratory for Classical Swine Fever, Beijing 100081, China)

Corresponding author: ZHU Yuan – yuan, E – mail: zhuyuanzz@ 163. com

Abstract: Foot – and – mouth disease (FMD) is one of the major infectious diseases affecting animal husbandry in China, mainly affecting cloven – hoofed animals such as swine, cattle and sheep. Swine FMD has peculiar features, which is different from cattle FMD and sheep FMD. This article focuses on the Characteristics, the global prevalence of the FMDV and the current situation of vaccine application in China, in order to provide basic reference for the prevention and control of FMD in China.

Key words: Foot – and – mouth disease; swine; epidemic situation; vaccine

口蹄疫(Foot – and – mouth disease, FMD)是一种由口蹄疫病毒(Foot – and – mouth disease virus, FMDV)引起的急性、热性、高度传染性的家畜疫病,其中猪、牛、羊等偶蹄动物最为易感^[1]。口蹄疫具有发病急、传播迅速、发病率高、宿主谱系广、危害大等特点,曾多次在世界范围内流行,对全球畜牧

业造成严重冲击,WOAH 将其列为必须上报的烈性动物传染病,我国也将其列为一类动物疫病^[2]。口蹄疫病毒是单股正链 RNA 病毒,属于小 RNA 病毒科、口蹄疫病毒属,病毒粒子呈球形,无囊膜^[1]。其基因组全长约 8500 bp,依次由 5' UTR、ORF 和 3' UTR 组成。ORF 编码聚蛋白逐级降解成 4 种结构

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1800300)
作者简介: 马建荣,硕士研究生,从事猪口蹄疫病毒致病机制研究。
通讯作者: 朱元源。E – mail: zhuyuanzz@ 163. com

蛋白 (VP4、VP2、VP3 和 VP1) 和 9 种非结构蛋白 (Lab/Lb、2A、2B、2C、3A、3B1、3B2、3B3 和 3C)^[3]。VP4 完全位于衣壳内部^[4], VP1、VP2、VP3 位于病毒粒子表面, 为表面结构蛋白, 与病毒的抗原性有关; VP3 蛋白主要参与衣壳的稳定性; VP1 蛋白大部分暴露于衣壳表面^[5], 是主要的抗原决定簇所在部位^[6], 其中 G-H 环是诱导机体产生中和抗体最关键的抗原表位^[7-9], 基于 VP1 核苷酸序列的系统发育分析, 已广泛用于口蹄疫病毒基因演化、流行病学调查、疫源追踪和病毒迁移等规律的研究^[10-11]。

1 猪口蹄疫的特点

口蹄疫一年四季均可发生, 多发于春、冬两季^[12], 其宿主谱系广范, 其中猪口蹄疫在病毒的入侵方式、排毒途径和疫苗的接种程序与牛羊口蹄疫不同。

1.1 传播途径不同 猪口蹄疫主要以接触传播为主, 饲喂口蹄疫病毒污染物 (病猪的乳汁、排泄物、分泌物等)、直接接触感染动物、猪只处于严重污染的环境 (圈舍、屠宰场、运输车辆等) 均易感染口蹄疫病毒, 与牛羊相比, 猪对气源性传播并不易感, 但是在低温湿润的环境中, 也可通过气溶胶传播口蹄疫病毒^[13]。牛口蹄疫主要通过呼吸道感染, 也可通过皮肤、粘膜破口感染。而羊口蹄疫则主要通过呼吸道感染, 通过空气感染途径, 羊对口蹄疫病毒具有很高的感染性, 在疫情爆发期间, 羊主要通过和患病动物的接触而感染。

1.2 感染剂量及病毒排毒情况不同 猪蹄球接种 1~10 IU 可发病, 而鼻内接种需要 1000 IU 以上的病毒才能感染。牛所需感染剂量较小, 舌面上皮接种 1 IU、气溶胶达 10~100 IU 病毒可使牛感染口蹄疫。羊经由鼻内和气管内接种所需的感染剂量为 10000 IU, 自然感染最低剂量为 8 IU。发病猪在发病初期排毒量最大, 感染 7 d 后会持续排毒 4~5 d^[14], 在病毒血症高峰期检测气溶胶病毒排毒量约为 10⁸ ID, 是牛的 1500 倍^[15-16]。猪感染口蹄疫后可通过呼吸道排出大量病毒, 被称为口蹄疫流行的“病毒放大器”; 绵羊、山羊等宿主在感染后无症

状持续携带病毒, 被称为口蹄疫流行的“病毒储存器”; 牛对口蹄疫最敏感, 因此被称为口蹄疫流行的“病毒指示器”。不过, 经感染口蹄疫病毒的猪康复后不会变成带毒者, 而绵羊、山羊的咽喉部在康复后 4~6 个月、牛咽组织在康复后 6~24 个月内均可检测到病毒。

1.3 免疫剂量不同 猪对口蹄疫病毒免疫应答相对迟钝, 猪免疫时需要高剂量的有效抗原, 20 世纪 60~70 年代荷兰在免疫猪时使用的疫苗免疫剂量是牛的 4~10 倍。Morgan 等^[17]通过实验研究表明, A12-119 株病毒免疫猪的最低有效抗原含量为 160 ng, 而牛的最低有效抗原含量为 40 ng。McKercher 等^[18]发现采用牛口蹄疫疫苗 (氢氧化铝水剂疫苗) 免疫猪只时效果不佳, 需要使用 4~6 倍剂量的牛口蹄疫疫苗或油佐剂疫苗才对猪只具有一定免疫保护作用。

2 猪口蹄疫流行情况

口蹄疫病毒分为 7 种血清型, 包括 O 型、A 型、亚洲 1 型 (Asia1 型)、C 型、南非 1 型 (SAT1 型)、南非 2 型 (SAT2 型) 和南非 3 型 (SAT3 型), 某些血清型仅呈局部散发趋势, 具有明显的地理分布特征, 如 Asia1 型主要流行于亚洲 (我国自 2011 年 6 月以后未见报告), SAT1、SAT2、SAT3 则主要流行于非洲, 而其它血清型特别是 O 型, 广泛流行于世界各大洲。

WOAH/FAO 世界口蹄疫参考实验室根据毒株基因序列和区域进化关系分析, 又将口蹄疫病毒分为若干个遗传拓扑型^[20-21]。根据遗传分类, 我国目前主要流行东南亚拓扑型 (SEA 型)、中东-南亚拓扑型 (ME-SA 型) 和古典中国拓扑型 (Cathay 型) 三种遗传拓扑型的口蹄疫病毒^[22], 近年来猪 O 型口蹄疫主要由以上遗传群的病毒引起, 其优势流行毒株是 Mya98 毒株、PanAsia 和 Cathay 毒株。Mya98 毒株属于 SEA 型, 是我国最主要的猪口蹄疫流行毒株; PanAsia 毒株属于 ME-SA 型, 传播能力很强, 曾引起亚洲、非洲和欧洲大规模爆发口蹄疫疫情, 目前在我国仍为地方性、散发流行; Cathay 型毒株曾被称为“猪毒遗传群”, 主要感染猪, 牛羊病例很少。猪 A 型口蹄疫按遗传分类分为欧洲-南

美拓扑型(Eu-SA型)、亚洲拓扑型(Asia型)和非洲拓扑型(Africa型)三个遗传拓扑型,每个型又包含有多个遗传谱系的毒株^[23],我国目前主要流行的是Asia型的Sea-97毒株。口蹄疫参考实验室根据流行病监控结果进行毒株遗传进化关系分析,同时结合国外相关资料发现,Sea-97毒株是东南

亚地区特有的一个A型流行毒^[24]。
据WOAH统计,2005-2021年间,全球共有40个国家和地区向WOAH通报猪口蹄疫疫情或疑似存在口蹄疫感染(猪)病例,在WOAH已公布的猪口蹄疫疫情中,共有O、A、Asia1、SAT1、SAT2五种血清型被通报,未见C型和SAT3型(表1)。

表 1 世界猪口蹄疫流行情况

Tab 1 The worldwide prevalence of swine foot and mouth disease	
洲	发生猪口蹄疫的国家和地区(包含血清型)
亚洲	亚美尼亚(A)、泰国(A、O)、不丹(A、O)、中国(A、O、Asia1)、越南(A、O、Asia1)、中国台湾(O)、中国香港(O、Asia1)、斯里兰卡(O)、蒙古(O)、柬埔寨(A、O)、印度(O、Asia1)、以色列(O)、日本(O)、哈萨克斯坦(O)、朝鲜(O、Asia1)、缅甸(O)、尼泊尔(A、O、Asia1)、菲律宾(O)、孟加拉国(A、O、Asia1)、吉尔吉斯斯坦(A、O)、韩国(A、O)、老挝(A、O)、马来西亚(A、O)
非洲	肯尼亚(A、SAT1、SAT2)、毛里求斯(O)、南非(SAT1)、南博茨瓦纳(SAT2)、埃塞俄比亚(A、O、SAT2)、多哥(O、SAT1)
南美洲	哥伦比亚(A、O)、委内瑞拉(A、O)、阿根廷(O)、玻利维亚(O)、巴西(O)、厄瓜多尔(O)、巴拉圭(O)
欧洲	俄罗斯(A、O、Asia1)、保加利亚(O)、英国(O)

甘肃农业大学王锡祯教授等通过调查发现,中国最早有口蹄疫的记载是1893年前后,在云南西双版纳边界地区曾经流行过类似口蹄疫的疫病^[25]。中国台湾1913-1916年、1924-1929年前后两次发生口蹄疫,到1997年已有68年未发生该病。1997年3月,中国台湾爆发了O/Taiwan/97株引起的猪口蹄疫,仅三周传至全岛,屠宰了约38%(400多万)的猪,造成约60亿美元的经济损失;2010年,亚洲发生由Mya98毒株引发的O型口蹄疫^[26];2013年,广东茂名发生由A/Sea-97/G2毒株引起的A型口蹄疫(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/KF450794>)。

2000年以来,我国采取全覆盖免疫接种的猪口蹄疫防控策略,并结合强化检测等诸多措施,我国猪口蹄疫疫情次数呈下降趋势。但是鉴于周边国家严峻的口蹄疫疫情情况,血清型多样、流行毒株复杂,对我国造成了潜在的传入风险,我国口蹄疫防控情形依然严峻。农业农村部兽医公报公布的动物疫情数据显示,自2010年以来,中国猪口蹄疫爆发点较多,全国17个省份共发生猪口蹄疫疫情51起(表2),累计6000余头猪发病,主要集中在我国西北地区和东南部,其中发病血清型O型31起,A型5起,未通报血清型15起。

表 2 2010 年以来我国猪口蹄疫疫情流行情况 (截至 2021 年 9 月)

Tab 2 The prevalence of FMD in China since 2010 (up to September 2021)		
省份及疫情发生时间	每省疫情发生次数	合计疫情次数
广东(2010、2013、2017、2018、2020、2021)	10	10
新疆(2010、2011、2018)	9	9
贵州(2010、2011、2017)	5	5
西藏(2010、2012、2013)	4	4
江苏(2012、2013、2014)、云南(2013、2018)	3	6
四川(2013、2016)、甘肃(2010)、宁夏(2010、2012)、广西(2018)、江西(2010、2016)、湖北(2012、2015)	2	12
青海(2010)、河南(2018)、安徽(2015)、辽宁(2012)、重庆(2020)	1	5

2011 年 6 月以来我国未检出亚洲 1 型病原学阳性样品,O 型和 A 型为主要流行的猪口蹄疫血清型(表 3)。相比于 A 型,我国 O 型猪口蹄疫流行情况更为复杂,2017 - 2018 年,Cathay、Mya/7/98、PanAsia 毒株分别引发 8 起、5 起、1 起猪口蹄疫感染事件。2018 年以后,Cathay 毒株逐渐成为优势流行毒株,Mya/7/98 毒株嗜猪分支在国内仍保持较强的流行势头和“发散式”进化^[13]。

表 3 近年来我国猪口蹄疫主要流行毒株
Tab 3 The main prevalent FMD strain in China in recent years

流行毒株	血清型	登陆号
A/GDMM/CHA/2013	A/Asia/Sea-97	KF450794
CHA/31/2010	O/Mya-98	JF792356
O/CHN/Mya98/33-P	O/Mya-98	JQ973889
SCGH/CHA/2016	O/Cathay	KX161429
GZSD/CHA/2018	O/Cathay	MG840803
O/GXCX/CHA/2018	O/Cathay	MH791316

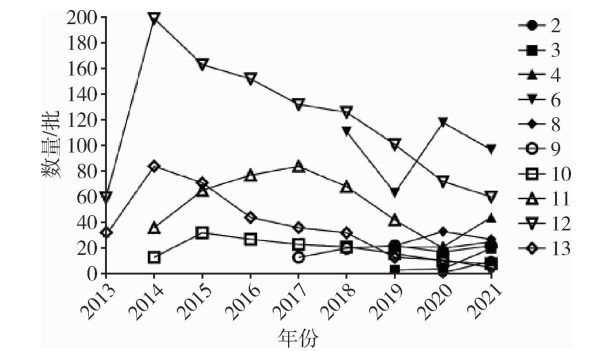
3 猪口蹄疫疫苗使用现状

我国养猪业具有养殖量大、调运频繁等特点,采用扑杀结合疫苗免疫的口蹄疫防控策略,其中疫苗质量的高低直接关系到免疫效果。疫苗质量取决于疫苗有效抗原含量、疫苗种毒与流行毒株的匹配性、疫苗种毒的免疫原性等^[27]。2014 年,随着《农业部公告第 2078 号》对口蹄疫灭活疫苗总蛋白含量、内毒素等检验标准进行规定,我国口蹄疫疫苗悬浮培养及纯化浓缩工艺换代替换,高效液相色谱法检测 146 s 在疫苗中间产品质量控制中广泛使用,疫苗抗原含量及纯度显著提高,疫苗质量不断提升,为猪口蹄疫防控提供了有力物资。

农业农村部 2018 年 1 月 2 日发布通告,亚洲 1 型口蹄疫正式退出免疫,对亚洲 1 型口蹄疫的防控策略调整为以“检测扑杀”为主,自 2018 年 7 月 1 日起全国停止生产、销售、免疫含有亚洲 1 型口蹄疫病毒组分的疫苗。据国家兽药基础数据库公开

数据显示,截至 2022 年 4 月,我国现批准上市的猪口蹄疫疫苗 13 种(表 4),包括灭活疫苗、合成肽疫苗、表位缺失疫苗、病毒样颗粒疫苗四类(另有空衣壳疫苗暂未上市,口蹄疫亚洲 1 型疫苗因退出免疫,暂未统计),均为 O 型或 A 型猪口蹄疫疫苗。目前,我国约 150 家兽用生物制品企业(厂)中,有 9 家企业(厂)生产口蹄疫疫苗。

兽用生物制品的批签发数据在一定程度上反映了兽用疫苗生产数量以及需求情况。根据中国兽药信息网兽药基础数据库查询系统(<http://vdt.s. ivdc. org. cn;8081/cx/>)的数据显示(图 1,猪口蹄疫 O 型病毒样颗粒疫苗等部分产品暂无数据,未统计),我国目前生产较多的是猪口蹄疫 O 型灭活疫苗(O/Mya98/XJ/2010 株 + O/GX/09-7 株)和猪口蹄疫 O 型、A 型二价灭活疫苗(Re-O/MYA98/JSCZ/2013 株 + Re-A/WH/09 株)。鉴于 Mya98 毒株是 2010 年来危害我国畜牧业发展的主要流行毒株,因此这两种疫苗批签发数量高于其他疫苗。猪口蹄疫 O 型灭活疫苗(O/Mya98/XJ/2010 株 + O/GX/09-7 株)2014 年批签发数量在猪口蹄疫疫苗中所占比例较大,后批签发数量逐年下降;O/GX/09-7 株属于 O/Cathay 毒株,2018 年后 O/Cathay 毒株较为流行,该疫苗批签发仍然有一定数量。2019 年猪口蹄疫 O 型、A 型二价灭活疫苗(Re-O/MYA98/JSCZ/2013 株 + Re-A/WH/09 株)批签发数量有所下降,2020 年大幅度回升。



图中序号与表 4 中序号对应

图 1 我国猪口蹄疫疫苗批签发数据(2013 - 2021 年)
Fig 1 Data on issuance of Swine Foot - and - mouth Disease vaccine batches in China (2013 - 2021)

表 4 我国猪口蹄疫疫苗

Tab 4 The swine foot – and – mouth disease vaccine in China

序号	产品名称	研制单位	新兽药类型	批准日期
1	猪口蹄疫 O 型病毒样颗粒疫苗	中国农业科学院兰州兽医研究所 华宇生物科技(腾冲)有限公司 中农威特生物科技股份有限公司 天津威特生物医药有限责任公司 华派生物工程集团有限公司	一类	2021.9.9
2	猪口蹄疫 O 型、A 型二价合成肽疫苗 (多肽 PO98 + PA13)	中牧实业股份有限公司 华宇生物科技(腾冲)有限公司 金河佑本生物制品有限公司 中牧智合(北京)生物技术有限公司	三类	2020.5.18
3	猪口蹄疫 O 型、A 型二价灭活疫苗 (O/MYA98/BY/2010 株 + O/PanAsia/TZ/ 2011 株 + Re – A/WH/09 株)	中国农业科学院兰州兽医研究所 中农威特生物科技股份有限公司 陕西梅里众诚动物保健有限公司 中牧实业股份有限公司	三类	2019.3.12
4	猪口蹄疫 O 型、A 型二价灭活疫苗 (OHM/02 株 + AKT – Ⅲ株)	天康生物股份有限公司 新疆畜牧科学院兽医研究所 (新疆畜牧科学院动物临床医学研究中心) 杨凌金海生物技术有限公司 中普生物制药有限公司	三类	2019.1.22
5	猪口蹄疫 O 型、A 型二价合成肽疫苗 (多肽 2700 + 2800 + MM13)	申联生物医药(上海)股份有限公司 中国农业科学院兰州兽医研究所 中农威特生物科技股份有限公司	三类	2018.12.10
6	猪口蹄疫 O 型、A 型二价灭活疫苗 (Re – O/MYA98/JSCZ/2013 株 + Re – A/WH/09 株)	中国农业科学院兰州兽医研究所 中农威特生物科技股份有限公司 金宇保灵生物药品有限公司 申联生物医药(上海)股份有限公司	一类	2017.12.11
7	猪口蹄疫 O 型病毒 3A3B 表位缺失灭 活疫苗(O/rV/1 株)	中国农业科学院兰州兽医研究所 中牧实业股份有限公司 中农威特生物科技股份有限公司	一类	2017.10.16
8	猪口蹄疫 O 型合成肽疫苗 (多肽 0405 + 0457)	中牧实业股份有限公司	三类	2017.08.31
9	猪口蹄疫 O 型合成肽疫苗 (多肽 TC98 + 7309 + TC07)	天康生物股份有限公司	三类	2017.01.20
10	猪口蹄疫 O 型合成肽疫苗 (多肽 98 + 93)	中牧实业股份有限公司	三类	2014.06.16
11	猪口蹄疫 O 型合成肽疫苗 (多肽 2600 + 2700 + 2800)	申联生物医药(上海)有限公司 中国农业科学院兰州兽医研究所 中农威特生物科技股份有限公司 郑州永继生物科技有限公司	三类	2014.06.16
12	猪口蹄疫 O 型灭活疫苗 (O/Mya98/XJ/2010 株 + O/GX/09 – 7 株)	中国兽医药品监察所 新疆天康畜牧生物技术股份有限公司 金宇保灵生物药品有限公司 中牧实业股份有限公司	三类	2014.01.13
13	猪口蹄疫 O 型灭活疫苗 (O/MYA98/BY/2010 株)	中国农业科学院兰州兽医研究所 中农威特生物科技股份有限公司	三类	2013.05.06

4 展 望

目前猪 A 型口蹄疫疫苗毒株较稳定,免疫原性好,免疫效果好;而猪 O 型口蹄疫毒株遗传变异快,免疫原性弱,免疫效果差,是口蹄疫防控需要关注的重点。口蹄疫 O/Mya98 系是近年来危害我国畜牧业发展的主要流行毒株,尤其是 Mya/7/98 嗜猪

分支在国内保持较强的流行势头。在重点防控 Mya/7/98 系的同时,还需关注发展势头迅猛的 Cathay 拓扑型新猪毒系毒株。我国是生猪养殖大国,猪口蹄疫疫苗市场占比比牛羊口蹄疫疫苗高,猪口蹄疫的防控是我国口蹄疫防控的关键,因此应持续监测猪口蹄疫流行态势,合理预测未来毒株变异趋势,通过交叉中和保护试验等监测疫苗对流行毒株的免疫保护力,做好口蹄疫免疫及免疫效果评估,科学、有效、高效地防控口蹄疫。

参考文献:

[1] Peng J, Yi J, Yang W, *et al.* Advances in foot – and – mouth disease virus proteins regulating host innate immunity[J]. *Front Microbiol*, 2020, 11: 2046.

[2] Stewart W L. The fight against foot and mouth is ease in Britain and Europe [J]. *Vet Med*, 1947, 42(10): 377.

[3] 朱元源. 外源 FLAG 插入对猪源口蹄疫病毒 O/CHA/90 株分子生物学特性及免疫原性的影响[D]. 南京农业大学, 2016.

Zhu Y Y. Effects of exogenous FLAG insertion on molecular biological characteristics and immunogenicity of porcine foot – and – mouth disease virus O/CHA/90 strain [D]. Nanjing Agricultural University, 2016.

[4] Acharya R, Fry E, Stuart D, *et al.* The three – dimensional structure of foot – and – mouth disease virus at 2.9 Å resolution [J]. *Nature*, 1989, 337(6209): 709 – 716.

[5] 李娜娜. 表达猪 O 型口蹄疫病毒 VP1 蛋白重组减毒猪霍乱沙门氏菌活疫苗的构建及免疫原性分析[D]. 华中农业大学, 2012.

LI N N. Construction and immunogenicity analysis of recombinant attenuated *Salmonella cholerae* live vaccine expressing VP1 protein of porcine foot – and – mouth disease virus type O [D]. Huazhong Agricultural University, 2012.

[6] 刘立军,王凤虹,王成达. 猪口蹄疫流行情况及防控措施[J]. *吉林畜牧兽医*, 2011, 32(02): 40 – 41.

Liu L J, WANG F H, Wang C D. Epidemic situation and prevention and control measures of swine foot – and – mouth disease [J]. *Jilin Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2011, 32(02): 40 – 41.

[7] Logan, Derek, Abu – Ghazaleh, *et al.* Structure of a major immunogenic site on foot – and – mouth disease virus [J]. *Nature*, 1993, 362(6420): 566 – 568.

[8] Bittle J L, Houghten R A, Alexander H, *et al.* Protection against

foot – and – mouth disease by immunization with a chemically synthesized peptide predicted from the viral nucleotide sequence [J]. *Nature*, 1982, 298(5869): 30 – 33.

[9] Aggarwal N, Barnett P V. Antigenic sites of foot and mouth disease virus(FMDV): an analysis of the specificities of anti – FMDV antibodies after vaccination of naturally susceptible host species [J]. *Journal of General Virology*, 2002, 83(4): 775 – 782.

[10] 何继军,靳野,马维民,等. 外来口蹄疫流行毒株跟踪分析与防控[J]. *中国动物检疫*, 2018, 35(11): 52 – 55, 61.

He J J, Jin Y, Ma W M, *et al.* Tracking analysis and prevention and control of endemic strains of foreign foot – and – mouth disease[J]. *China Animal Quarantine*, 2018, 35(11): 52 – 55, 61.

[11] 汪肖肖,孙普,王省,等. 口蹄疫表位疫苗的研究进展[J]. *中国兽医科学*, 2019, 49(4): 499 – 505.

Wang X X, Sun P, Wang S, *et al.* Research progress of foot – and – mouth disease epitope vaccine [J]. *Chinese Veterinary Science*, 2019, 49(4): 499 – 505.

[12] 郭丽. 猪口蹄疫的流行特点及防控策略[J]. *畜牧兽医科技信息*, 2014(01): 7 – 9.

Guo L. Epidemiological characteristics and prevention and control strategies of pig foot – and – mouth disease [J]. *Animal Husbandry and Veterinary Science and Technology Information*, 2014(01): 7 – 9.

[13] 吕建亮. 新发猪口蹄疫病毒 VP1 基因遗传衍化规律研究[D]. 甘肃农业大学, 2019.

Lv J L. Study on the genetic derivation law of VP1 gene of new pig foot – and – mouth disease virus [D]. Gansu Agricultural University, 2019.

[14] 何继军,杨亚民,马维民,等. 我国 O 型 Mya – 98 口蹄疫病毒流行情况与毒株分析[J]. *中国动物检疫*, 2014, 31(05): 45 – 51.

He J J, Yang Y M, Ma W M, *et al.* Epidemic situation and strain analysis of O – type Mya – 98 foot – and – mouth disease virus in China[J]. *China Animal Quarantine*, 2014, 31(05): 45 – 51.

[15] Sellers R F, Herniman K A J, Donaldson A I. The effects of killing or removal of animals affected with foot – and – mouth disease on the amounts of airborne virus present in loose boxes [J]. *Brit Vet J*, 1971, 127: 358 – 365.

[16] Donaldson A I, Ferris N P. Sites of release of airborne foot – and – mouth disease virus from infected pigs [J]. *Res Vet Sci* 1980, 29(3): 315 – 319.

[17] Morgan D O, McKercher P D, Bachrach H L. Quantitation of the

- antigenicity and immunogenicity of purified foot – and – mouth disease virus vaccine for swine and steers [J]. Applied Microbiology, 1970, 20: 770 – 774.
- [18] Mckercher P D, Giordano A R. Foot – and – mouth disease in swine. I. The immune response of swine of chemically – treated and non – treated foot – and – mouth disease virus[J]. Archiv Für Die Gesamte Virusforschung, 1967, 20(1): 39 – 53.
- [19] 谢增胜. 2015 – 2016 年广东部分地区猪源 FMDV 血清学调查及 FMDV VP1 和 3A 基因的序列分析[D]. 华南农业大学, 2017.
- Xie Z S. Serological investigation of pig – derived FMDV and sequence analysis of FMDV VP1 and 3A genes in some parts of Guangdong from 2015 to 2016 [D]. South China Agricultural University, 2017.
- [20] FAO – EUFMD. Foot and mouth diseases situation monthly report [R]. Roma: FAO, 2015: 4 – 5.
- [21] 孙映雪,朱琳,陈伟,等. 2018 年全球口蹄疫流行状况分析[J]. 中国动物检疫, 2019, 36(06): 49 – 55.
- Sun Y X, Zhu L, Chen W, *et al.* Analysis of global foot – and – mouth disease epidemic in 2018[J]. China Animal Quarantine, 2019, 36(06):49 – 55.
- [22] Paton D J, King D P, Knowles N J, *et al.* Recent spread of foot – and – mouth disease in the Far East[J]. Vet Rec, 2010, 166 (18):569 – 570.
- [23] Samue A R, Knowles N J. Foot – and – mouth disease type O viruses exhibit genetically and geographically distinct evolutionary lineages (topotypes) [J]. J Gen Virol, 2001, 82 (Pt 3): 609 – 621.
- [24] 何继军,刘湘涛. 口蹄疫的流行与防控[J]. 兽医导刊, 2014 (05): 19 – 22.
- He J J, Liu X T. Epidemic and prevention of foot – and – mouth disease[J]. Veterinary Herald, 2014(05): 19 – 22.
- [25] 刘湘涛,张强,郭建宏. 口蹄疫[M]. 北京:中国农业出版社, 2015: 238 – 239.
- Liu X T, Zhang Q, Guo J H. Foot – and – mouth disease [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 238 – 239.
- [26] 刘湘涛,张强,郭建宏. 口蹄疫[M]. 北京:中国农业出版社, 2015: 15.
- Liu X T, Zhang Q, Guo J H. Foot – and – mouth disease [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 15.
- [27] 邹兴启. 亚洲 1 型口蹄疫疫苗毒株的自然重组株生物学特性研究[D]. 中国农业科学院, 2019.
- Zou X Q. Biological characteristics of natural recombinant strains of Foot – and – Mouth Disease vaccine strains in Asia [D]. Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.

(编辑:李文平)