

机械化对牲畜养殖管理
的改善和人畜共患病
防控的解决途径

联合国可持续农业机械化中心
联合国亚洲及太平洋经济社会委员会

机械化对牲畜养殖管理的改善和人畜共患病防控的解决途径

概 要

畜牧业在农业产业中占有重要地位。然而，随着已成为全球危机并影响着人类健康和经济社会发展的新型冠状病毒(COVID-19)的爆发，人畜共患病及其防控措施引发了更多关注。由于防疫力量薄弱及社会文化习惯等多种因素，亚太地区一直是人畜共患病的多发区域，给养殖业和人类健康造成巨大损失，威胁卫生安全、民生安全、粮食安全。

约 60%的人类传染病源自动物。畜禽养殖的机械化可以为防控人畜共患病发挥重要的作用。由于机械装备具有明显的程序化和标准化的作业特性，因此在生物安全防控上具有更好的执行能力，可以最大程度避免人为因素导致的防控失效，更可靠杀灭病原体、阻断传播途径、保护易感人畜，从而实现对人畜共患病的有效防控。因此，机械化防控具有不可替代的优势。同时，大量机械装备应用在畜禽规模化养殖的各个生产环节，可以改善养殖业管理水平，提高劳动生产率，增加养殖效益，提升畜产品的质量，降低对环境的负荷。这对于提升食品和营养安全，改善动物福利具有重要意义，这与 2030 年可持续发展目标中的消除饥饿(目标 2)、良好健康与福祉(目标 3)、负责任的消费和生产(目标 12)高度相关。

报告指出，制约机械化防控的因素主要有疫病的整体防控能力不足、小规模 and 散户养殖的疫病防控非常薄弱、机械化疫病防控研发与应用体系尚不健全、牲畜养殖的专业化服务组织的作用发挥不充分。与此同时，机械化防控面临前所未有的机遇与挑战。随着农机工业、信息化技术的高速发展，使机械化在疫病防控上可以发挥更大作用，更具针对性。在应对非洲猪瘟和新冠病毒等疫情方面，亚太地区总结了防控不足的教训，也积累了诸多有效的防控经验，完善疫病防控的软、硬件设施设备成为共识。然而在一定时期内，规模养殖同大量散户养殖将继续并存，要提高养殖业的整体规模化程度，同时，需要注重机械化同养殖工艺和药物防控技术的融合。

亚太各国应根据本国国情，互相借鉴发展经验，制定发展规划及切实可行的行动方案，不断提升牲畜养殖规模化、机械化和智能化水平。本研究对亚太地区牲畜养殖机械化发展提出了如下六项技术与政策层面的建议。

一是加强科技创新与新技术推广，提高绿色、安全、高效的畜牧机械的供给。加快自动化、信息化、智能化装备等新技术的应用。

二是鼓励适度规模养殖和场区标准化建设，坚持养殖业与种植业协调发展，鼓励就近就地消纳养殖废弃物。推进设施养殖模式创新、科学规划、宜机化设计，加强规模化养殖设施装备的集成配套技术指导。

三是坚持疫病科学防控和机械化的应用：将疫病防控纳入牲畜养殖行政管理法律法规；制定养殖场机械化消杀技术规范；支持规模化养殖场（区）配套畜禽粪污资源化利用和病死畜禽无害化处理设施装备。

四是发挥市场化、社会化和专业化服务组织作用：推广“公司+农户（家庭农场）”的养殖模式，鼓励社会化服务组织开展粪污资源化利用、畜产品贮运、安全净化防疫等环节的专业化服务。

五是加大政府扶持和金融保险支持：政府建立规模化养殖场建设激励机制，加大对养殖场户购置畜牧机械装备的扶持；鼓励金融机构开展牲畜机械装备抵押贷款，政府实施临时贷款贴息；提高牲畜政策性保险覆盖面。

六是开展从业人员培训教育和广泛的交流合作：加大对养殖场（户）从业人员培训，提高全行业人员的素质。加强与动物健康、疫控、环保等其他部门协作；加强经验交流和数据共享以及与世界卫生组织、世界动物卫生组织、联合国粮食与农业组织等国际组织的密切合作。

引言

畜牧业在农业产业中占有重要地位。然而，随着已成为全球危机并影响着人类健康和经济社会发展的新型冠状病毒(COVID-19)的爆发，人畜共患病及其防控措施引发了更多关注。由于防疫力量薄弱及社会文化习惯等多种因素，亚太地区一直是人畜共患病的多发区域，给养殖业和人类健康造成巨大损失，威胁卫生安全、民生安全、粮食安全。

约 60%的人类传染病源自动物^[1]，畜禽养殖的机械化可以为防治人畜共患病发挥重要作用。由于机械装备具有明显的程序化和标准化的作业特性，因此在生物安全防控上具有更好的执行能力，可以最大程度避免人为因素导致的防控失效，更可靠地杀灭病原体、阻断传播途径、保护易感人畜，从而实现对人畜共患病的有效防控，因此，机械化防控具有不可替代的优势。同时，大量机械装备应用在畜禽规模化养殖的各个生产环节，可以改善

养殖业管理水平，提高劳动生产率，增加养殖效益，提升畜产品的质量，降低对环境的负荷。这对于提升食品和营养安全，改善动物福利具有重要意义，这与 2030 年可持续发展目标中的消除饥饿(SDG 2)、良好健康与福祉(SDG 3)、负责任的消费和生产高度(SDG 12)相关。

根据联合国粮农组织 (FAO) 发布的数据显示，2018 年，亚洲牛存栏量占全球 30.5%，鸡存栏量占全球 57.5%，绵羊存栏量占全球 42.6%，山羊存栏量占全球 52.5%，生猪存栏量占全球 57.2%，亚太区域部分国家生猪存栏量如表 1 所示。

表 1 亚太区域部分国家 2018 年生猪存栏量

(单位：万头)

国家	中国	越南	俄罗斯	韩国	日本	印度尼西亚	印度	泰国	马来西亚
存栏量	44158	2815	2307	1133	918	854	848	790	165

资料来源：FAOSTAT

养猪业是关乎国计民生的重要产业，亚太区域以猪肉消费为主，生猪生产关系亚太区域的经济、民生。有数据显示，2017 年，全球猪肉消费总量为 11058.8 万吨，其中，中国就占了一半，为 5493.5 万吨。

亚太区域各国畜牧养殖业发展水平不同，比较发达的有中国、日本、泰国、韩国和中国台湾地区，其中，中国 2018 年的畜禽养殖规模化率*为 60.5%。但总体来看，农户分散养殖仍占主体，中小养殖场（户）饲养管理水平不高，养殖机械化水平偏低，疫病频发。

本文以生猪养殖为例，介绍养殖装备在现代养殖业中的应用及其对改善养殖管理的作用，并通过总结现有养殖场机械化防控的模式，提出机械化解解决方案。

1. 生猪养殖机械的应用与发展趋势

生猪养殖机械主要包括栏架、漏粪地板、饲喂设备、消杀设备、环控设备、粪污资源化利用设备和病死猪无害化处理设备。大中型规模化养殖场机械应用的成套化和系统化

* 畜禽养殖规模化率：各主要畜种规模化率的综合水平，即生猪年出栏 500 头以上占全部出栏数比重、蛋鸡年存栏 2000 只以上占全部存栏数比重、肉鸡年出栏 10000 只以上占全部出栏数比重、奶牛年存栏 100 头以上占全部存栏数比重、肉牛年出栏 50 头以上占全部出栏数比重的综合水平。

特点明显，散户和小规模养殖场以单机作业和个别环节机械替代人工为主。

1.1 栏架和漏粪地板

猪栏限定猪的活动空间并为猪只转群、饲喂、体情监测等饲养管理提供便利。猪栏按不同分类依据有多种类别，如表 2 所示，养殖场根据养殖对象、规模和成本分析选择适宜的猪栏。

表 2 猪栏分类

分类依据	猪栏类别
按饲养类群	公猪栏、配种栏、母猪栏、妊娠栏、分娩栏、保育栏、育成栏、育肥栏
按饲养数量	单栏、群栏
按结构型式	实体猪栏、栅栏猪栏、综合式猪栏、装配式猪栏
按日常使用方法	大栏、定位栏、分娩栏、保育栏

漏粪地板的使用可减少清扫的人工投入，易于清除猪的粪尿，便于保持栏内的卫生。漏粪地板材质有水泥混凝土、金属编织网、工程塑料、铸铁、陶瓷和新兴复合材料等。

猪舍栏架的应用通常同漏粪地板配合使用，比较典型的如图 1 所示分娩栏，又名产床，集成了猪栏、漏粪地板和食槽，包括底床、围栏、母猪位栏体及仔猪保温区。分娩栏便于母猪采食、躺卧及站立；保持母猪栏位与仔猪活动区域干燥、卫生，减少疾病发生；防止母猪对仔猪的踩踏、躺压等意外伤害，以免造成仔猪死亡；避免仔猪吮乳时叠堆，影响仔猪采食。

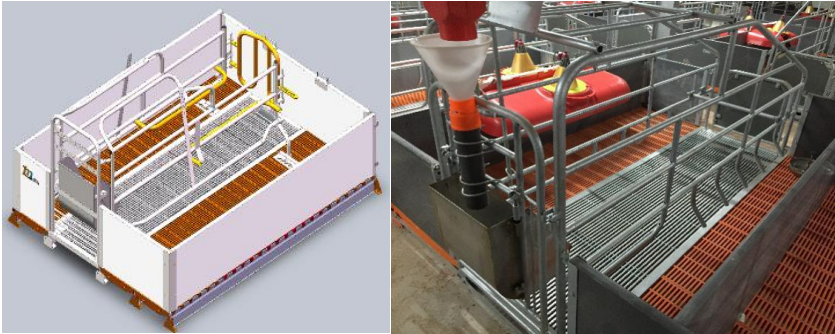


图 1 分娩栏

（图片来源：广东南牧机械设备有限公司）

1.2 饲喂机械

养猪场饲喂机械包括：干料饲喂系统、湿料饲喂系统、干湿料饲喂设备和饮水系统。干料饲喂系统由料仓、输送管道、刮盘链条（或弹簧螺旋）、驱动装置、转角器及出料机构组成。干料饲喂系统应用普遍，是规模养殖的基础性设备。湿料饲喂系统在干料饲喂系统基础上增加了清水输送、搅拌和湿料输送机构。如图 2 所示，(a) 为配怀舍湿料饲喂系统，(b) 为分娩舍湿料饲喂系统。干湿料槽通过猪只拱动落料管和饮水器使干料和水自动落入食槽，供猪只混合后采食。随着技术的进步，精准控制的饲喂设备如智能干湿料槽、种猪测定系统、母猪群养系统逐步得到更多的应用。



(a) 配怀舍湿料饲喂系统

(b) 分娩舍湿料饲喂系统

图 2 湿料饲喂系统

(图片来源：广东南牧机械设备有限公司)

规模化猪场一般采用压力供水，供水系统主要由水管路、过滤器、减压阀和自动饮水器组成。自动饮水器有鸭嘴式、乳头式、杯式（碗式猪用饮水器）。鸭嘴式猪只自动饮水器结构简单，密封性好，水流出时压力下降，流速低；乳头式饮水器结构简单，通过性好，但密封性差，水流速高，需降压使用；碗式猪用饮水器用水节约，可避免水直接流到地上导致猪舍潮湿。

1.3 消杀防疫机械

养猪场应用的消杀防疫机械主要包括清洗机、喷雾机、喷粉机和火焰消毒器等。喷雾机是机械化消杀的核心机械，其消毒效果主要取决于其雾化性能，包括雾滴颗粒大小、雾滴射程、悬浮时间、雾化量、雾化率；喷粉机用于粉状消毒药剂的喷洒；高压水枪用于清洗污物，泡沫清洗机比高压水枪可以更高效、彻底地清除附着在圈舍环境和设备上面的生物膜和污染物，其他如热水冲洗机、专用发泡机也有一定应用；火焰喷射器通过液化气燃

烧喷射出 1000℃ 以上的高温，可杀死猪舍、猪栏、食槽等处的细菌、病毒、虫卵。

实际应用中，各种消杀防疫机械多为组合形式，典型的如车辆洗消中心，人员（物资）消毒通道等。车辆洗消中心集成了高压冲洗、发泡、喷雾、风机装置，具有高压清洗、泡沫清洗、雾化消毒、冷风吹干等功能，可对进出场区的车辆进行全面的消毒。根据洗消对象不同，车辆洗消中心分敞开式、半封闭式和封闭式，烘干房也可根据情况组合使用。车辆洗消中心运行需配套废水收集和处理设备，避免造成环境污染和病菌（毒）的扩散。图 3 所示为封闭式车辆洗消中心（a）、烘干房（b）。



（a）封闭式车辆洗消中心 （b）烘干房

图 3 车辆洗消中心

（图片来源：青岛尚芳环境科技有限公司）

养猪场人员（物资）消毒通道多采用离心式雾化、超声波式雾化、二流体雾化等喷雾设备，要求喷雾稳定、雾化效果好、雾滴在空气中悬浮时间长。消毒通道多采用自动门禁，防止人员逃避消毒，保证消毒有效时间。

1.4 环境调节设备

养猪场需要调节的环境因素包括温度、湿度、有害气体、灰尘等，所应用的设备包括风机、湿帘、卷帘、通风窗、供暖设备等，分别实现猪舍通风换气、降温、供暖加热等功能，并在使用中根据用途和对象组合使用，在规模养猪场一般实现了系统控制。图 4 所示为养殖资源系统的物理架构。

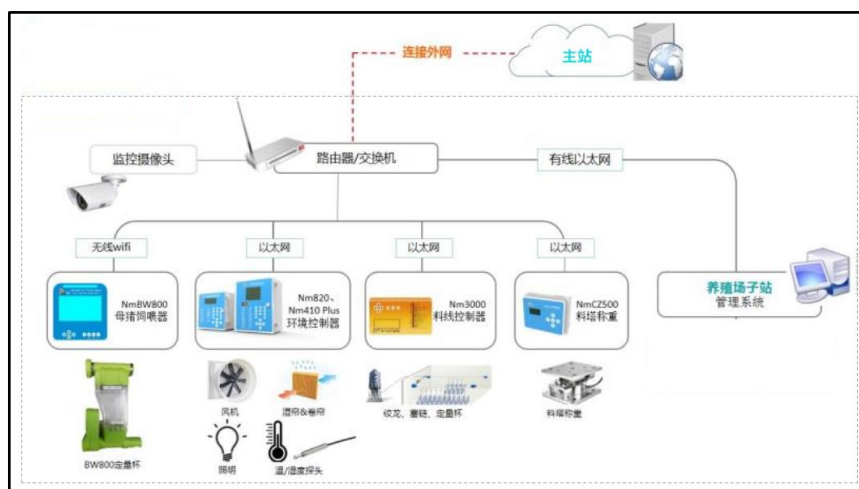
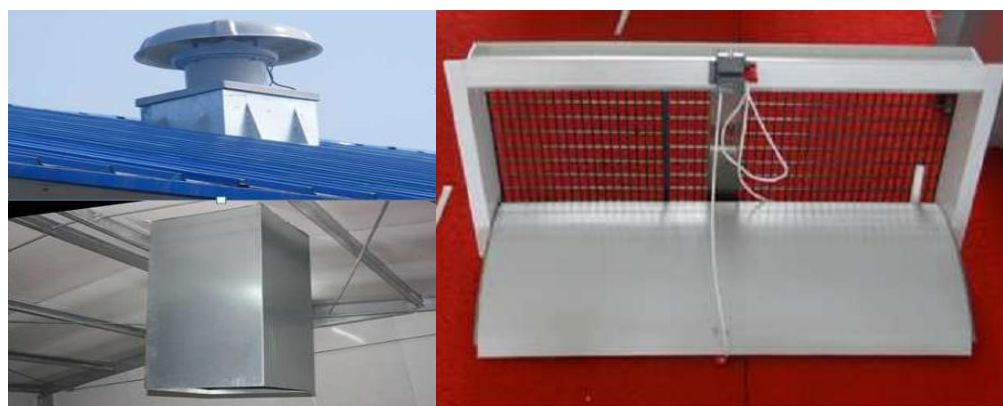


图4 养殖资源系统物理架构

（图片来源：广东南牧机械设备有限公司）

猪舍通风换气主要通过轴流风机、变速风机、侧墙通风小窗、屋顶通风小窗、屋顶排风系统、屋顶送风管道系统、通风天花板、上下活动窗、吊顶通风小窗、卷帘、喷雾系统等组合作用，实现纵向、横向、垂直等方向通风的目的。图5所示为猪舍内吊顶通风小窗（a）和侧墙通风小窗（b）。



（a）吊顶通风小窗

（b）侧墙通风小窗

图5 通风小窗

（图片来源：广州华南畜牧设备有限公司）

猪舍降温主要是通过湿帘、喷雾等降温设备同风机组合作用。依靠蒸发降温原理，室外空气从其内部流过，实现对室内空气降温。湿帘系统由湿帘纸、湿帘框体、水循环系统、过滤系统组成，与风机组合能达到最佳通风降温效果。图6为风机和湿帘组合的降温系统。



(a) 轴流风机

(b) 湿帘

图6 降温系统组合

(图片来源: 广东南牧机械设备有限公司)

猪场的保温设备包括燃气炉、空气能水暖、保温灯、保温垫等。燃气炉属于空间加热器,通常具有独立温控功能,能根据设定温度自动调节启动频率;空气能水暖,利用热泵原理吸收大气热量加热循环系统内的水介质,实现高效水暖供暖,相比传统电加热系统,能效比更高,更经济;保温灯、保温垫属于区域辐射型保温,主要用于初生仔猪身体烘干、加热保暖。

1.5 生猪养殖废弃物处理机械

生猪养殖的废弃物处理机械包括粪污的资源化利用设备和病死猪无害化处理设备。粪污的资源化利用方面,亚洲的日本和中国多采用固液分离、干粪发酵还田,污水经沼气工程处理后的沼渣沼液用于循环农业的模式。在粪污收集、粪污处理和粪污利用三个环节上所应用的设备主要包括:刮板式清粪机、固液分离机、翻堆机、好氧发酵罐、沼渣沼液抽排设备、撒肥机等。

刮板式清粪机分为平板式和V型板式,如图7所示,其结构简单、性能稳定、安全可靠,可大大降低人工清粪成本。固液分离机分为螺旋挤压式、斜筛式、圆筛式、卧式离心式等,可使畜禽粪便的含水率大幅降低(从80%~90%之间降到40%~50%之间)。好氧发酵罐和翻堆机主要对干粪处理,经好氧发酵后作为有机肥基料或直接还田施用。好氧发酵罐分立式和卧式。翻堆机有槽式、自走式等型式,动力也可根据需求选择内燃机或电机。固液分离后的污水需经厌氧、好氧处理后还田,沼气工程是污水处理的主要模式之一,在厌氧作业时厌氧发酵罐有所应用。粪污经处理后生成的有机肥可使用沼渣沼液抽排设备和撒(施)肥机等进行还田。



(a) 平板式

(b) V 型板式

图 7 刮板式清粪机

(图片来源：广州华南畜牧设备有限公司)

病死猪无害化处理设备主要包括：降解机、焚烧炉和化制机。降解机作业时需添加生物菌和锯末等辅料，畜禽尸体的分切、绞碎、发酵、杀菌、干燥均在密闭的机体内完成，在常压、温度不高于 72°C （因生物菌不同有差异）、10h 以内（因处理的物料湿度不同有差异），生物菌对腐败动物尸体的降解作用产生生物热，再通过外辅助加温达到 120°C 高温处理，有效灭杀病毒，无烟、无臭、无血水排放，处理后物料转化为无害粉状有机肥原料；焚化炉因焚烧会产生烟气，不完全燃烧会释放二噁英，必须二次充分燃烧。尸体无害化处理设备通常作业时配备废气或废水处理装置。化制机作业时，畜禽尸体在反应罐中经过高温高压作用消解转化为无菌水溶液和干物质骨渣，病原微生物彻底被杀灭。化制机按热蒸汽气体是否接触畜禽尸体分为湿化法和干化法，湿化机使用较多，化制处理后得到油脂和骨粉，油脂可以作为生物柴油原料，骨粉可经处理后制作有机肥。

1.6 牲畜养殖机械应用发展的趋势

牲畜养殖机械的应用趋势突出表现在自动化、信息化和智能化技术对传统机械的改造升级，养殖各环节从机械替代人工，到关键环节的智能装备取代人力。以生猪养殖为例，智能识别、大数据运算为基础的智能化装备已经通过以下 4 个方面在现代化养殖场得到应用。

猪只智能识别和大数据算法。通过耳标识别或进一步的猪脸识别、声音识别、红外技术应用，获取准确、实时、客观的养殖大数据，结合大数据算法，观测和记录分析猪只体重、生长、运动、进食健康状况，实现猪只饲喂管理、生长曲线分析、疫病防控、环境控制、分群管理等精准化。

饲喂的精准化与个性化。通过物联网的远程控制，可以根据系统设定的饲喂曲线，对

群体和个体猪只进行智能饲喂和精准饲喂，对每一只猪的最佳料肉比进行精准控制，减少饲料浪费，降低饲喂成本。猪只到饲喂器进行采食时，可通过猪脸识别技术调取该猪的档案信息，确定该猪可采食的数量，并自动下料，猪只可多次采食，当进食数量之和达到设定的上限时，饲喂器将不再下料，从而实现对猪只的精准饲喂。

猪场智能巡检。猪场巡检机器人可通过摄像头对正在进食的育肥和后备猪进行精准估重，对正在进食的妊娠猪只进行膘情分析；通过声音收集装置，收集各个栏位的声音并运用算法模型分析异常，进行疾病预警，及时治疗；通过红外测温仪收集各个栏位内猪只温度，检测猪只是否发烧，如有发烧及时预警。通过养殖数据大量积累，巡检机器人算法不断修正，提供给管理者的解决方案更具有效性，这极大提高了养殖流程标准化、规范化程度，提升猪场生产管理的自动化水平。

环境调节的智能化。猪舍环境智能控制系统综合利用传感器、计算机、物联网、自动控制等技术，实现数据采集、存储、分析和自动控制输出。通过设置智能环控规则，控制环控设备（如风机、卷帘、天花窗等）在特定情况下自动运行，可以让猪舍内环境（温度、湿度、空气质量）长期保持优良，高水平 and 舒适的养殖环境可以大幅度的提高生产效率和降低生产成本。

2. 机械化对养殖管理的改善

2.1 机械化促进养殖规模化

机械化的广泛应用是规模化养殖的基础，养殖的规模化、标准化为机械装备的系统化应用提供了条件。在亚洲，日本猪场参照欧美模式建立，机械化率较高，自动化环控、饲喂、清粪设备配套齐全。2012 年，日本 2000 头以上规模的养殖场生猪存栏量占总生猪存栏量的 66%，其中 3000 头以上规模的占 54.6%。泰国养猪业规模化程度也在加快，设备设施得到快速的应用，2015 年 1000 头以上的肉猪舍规模达到 70%。中国的工厂化养猪始于上世纪 80 年代，逐渐从传统分散养殖向工厂化、规模化养殖发展，据《中国畜牧兽医统计 2019》数据，2018 年 500 头以上生猪饲养规模比重上升到 49.1%，这已经很接近中国农业农村部《全国生猪生产发展规划(2016—2020 年)》设定的 2020 年生猪饲养规模化比重达到 52% 的目标。中国农业机械化协会分析，目前规模化养猪的机械化水平总体达到 45% 以上，其中投饲饲喂、环境控制等环节机械化率超过 60%。

2.2 机械化提升养猪效率和效益

一个高效的机械化肉猪场人均管理头数可比传统育肥场提升4~5倍,达到2000~3000头。有研究表明,机械的应用使规模化猪场在降低成本方面较散户具有明显的优势,在生长育肥阶段成本同养殖规模呈现较为明显的负相关。表3所示为中国的温氏食品集团股份有限公司各阶段种猪场在用地、规模上的比较,随着建设模式和机械化水平的升级,养殖场效率大幅提升。以中国某地一个年出栏13万头的养猪场为例,通过机械化升级,应用精准饲喂设备、智能温控、全自动生产性能监测、自动节水设备和污水处理系统,万头猪饲养人数减少到十分之一,上市生猪耗水降低28%,上市生猪肉料比降低3%,保育育肥成活率提高1%~2%,母猪配种分娩率同比提升近7%,达到86.53%,母猪年均断奶上交合格数同比提升9%,达到25.6头,同时通过“龙头企业+养殖合作社+养殖场(户)”的模式带动养殖业发展,推动农业产业化结构调整、农民收入增加,取得很好的经济效益和社会效益。

表3 种猪场的不同发展阶段比较

次序	发展阶段	建设模式	单头猪占舍面积/ (㎡/头)	人均效率/ (头/人)
第1代	传统猪场	布局6~8栋猪舍,砖瓦木结构,开敞式自然通风,传统干清粪,人工喂料	6.8	40~50
第2代	大线式猪场	布局5~8栋猪舍,采用钢结构+全密闭砖砌,半自动机械通风控制,半自动干清粪,机械+人工饲喂	6	60~70
第3代	工厂化猪场	布局5~8栋猪舍,采用大跨度钢结构+全密闭砖砌,半自动机械通风,机械清粪模式,机械饲喂	5.5	100~120
第4代	楼房式猪场	采用钢筋混凝土楼板结构,配置精准通风,自动清粪,自动饲喂,实现自动化、信息化、智能化饲养	5.3	200

2.3 机械化改善人猪福利

自动化设备的应用使猪场的精细化管理得以实现,饲养员能够有更多的时间来观察和管理猪只,更好地做到疫病的早发现早治疗,显著降低猪只死亡率。新型材料和设计工艺在地板栏架上的应用,使各成长阶段猪只活动休息场地更舒适、干净,猪体意外受伤和

细菌感染概率大大降低。自动饲喂系统减少了人畜接触，避免猪群应激，饲料损失减少，封闭的输送管道避免了鼠虫病媒对饲料的污染。环境控制系统和清粪系统等的应用，可大大改善舍内的氨气、二氧化碳、风速、温度和湿度等环境指标，为猪只的生长营造一个舒适健康的环境，从而提高猪只健康度。空气过滤系统有效地过滤掉 99.5% 以上的 0.3 微米微粒，把携带病毒或细菌的气溶胶、微小颗粒等阻挡在猪舍外面，隔断传播途径，能有效防止口蹄疫、喘气病等病原微生物感染。消杀设备、粪污资源化利用设备及尸体无害化处理设备的应用，降低了猪只和人员感染疫病的几率，使猪只和从业人员更健康。

2.4 机械化改善人居环境

畜禽养殖业对环境的影响巨大。畜禽养殖废弃物包括粪、尿、栏舍冲洗污水、病死畜禽、养殖垫料、家畜胎盘及废气等，其中以粪、尿、栏舍冲洗污水为主。中国第一次污染源普查公布的数据显示：2007 年，全国畜禽养殖业化学需氧量(COD)，总氮(TN) and 总磷(TP) 放量分别占总排放的 41.9%、21.7%、37.9%，畜禽养殖污染源成为继工业污染、生活污水和垃圾污染之后的第三大污染源。[3] 近些年，中国政府致力于环境的改善和污染治理，鼓励改善养殖工艺，例如：采用干清粪取代水冲清粪、采用节水饮水器等加大源头减排，鼓励畜禽粪便资源化利用和病死畜禽尸体无害化处理，并在政策上给予支持，整县推进提高畜禽粪污处理设施装备配套率和综合利用率。

中国第二次污染普查数据分析结果显示：COD、TN 和 TP 排放强度，较 2007 年分别降低了 55.5%、67.2% 和 57.9%；干清粪模式养殖替代了水冲清粪养殖，每天产生的污水减少幅度达到 60% 以上；2017 年中国规模猪场采用干清粪工艺的比例已经达到 81%，水冲清粪比例下降至 9%，极大提高了固体粪便收集率，促进了粪肥资源化利用，降低了污染物排放量。[3] 据中国农业农村部统计，2018 年全国畜禽粪污综合利用率和规模养殖场粪污处理设施装备配套率均已达到了 74%，大型规模养殖场粪污处理设施装备配套率达到 86%。同时，规模养殖场基本实现了病死畜禽无害化处理，小区饲养和散养实现了病死畜禽的集中处理。粪污资源化利用和病死猪无害化处理设备的应用，避免了含有大量病菌、虫卵的粪便未经腐熟而直接施入土壤导致土壤污染，或病死猪的乱扔弃导致污染环境。机械化应用极大促进了畜禽养殖废弃物的处置效率，有效降低了污染排放，改善了人居环境，为畜牧业可持续发展奠定了基础。

3. 人畜共患病防控的机械化解决方案

3.1 机械化在人畜共患病防控中的作用

机械化在大幅提高消杀效率方面作用突出、效果显著，很大程度上增强了养殖场应对人畜共患病防控的能力，有效提升了猪只和养殖从业者的健康水平。养殖场对人畜共患病的防控措施主要是杀灭病原体和生物媒介、阻断传播途径、隔离易感人畜，养殖环节涉及的人员、车辆、猪、物资、饲料、水、废弃物、病媒有害生物（蚊、蝇、鼠、鸟等），以及舍内空气、设施均是防控的对象，防控的区域包括养殖场内外与其相关的大小环境。其中，机械化消杀主要包括对进场人员、车辆、物资的消杀，对生产区、生活管理区、隔离区的消杀，对畜禽尸体的无害化处理与消杀。养殖场需要贯彻“整体防控、人畜共防”的理念。

机械化防控作用的发挥，既取决于消杀防控程序设计的科学性、针对性，充分考虑整体流程和关键环节，又依赖于机械设施与养殖工艺、防疫药剂的有机结合，还需要严格地按照防控规程实施到位。机械化防控的主要环节包括：养殖场的宜机化设计，机械化对饲料、水、空气的卫生保障，机械化消杀。

3.2 养殖场的宜机化设计

养殖场规划应充分考虑机械设施的安装和建设，方便机械的作业或运行，利于疫病防控举措的实施。养猪场车辆入口处应预留车辆洗消中心建设用地，大中型养猪场应预留饲料中转中心料塔、中转猪舍建设用地。猪场内按照生产区、生活管理区、隔离区三个功能区布局，并有围墙或隔离带隔开。生产区按顺向建设种猪舍、运动场、产房、保育舍、育成舍、育肥舍和有关的辅助设施，猪舍的布局应符合防疫、生产、通行、排污的各项要求，场地面积和设计应满足猪栏、地板设施，以及饲喂、环控、消杀设备的安装和使用。生活管理区应设置人员换洗通道、物资消杀通道，门窗应做防蚊、蝇、鼠、鸟等病媒生物措施。场内道路区分净道和污道，不许交叉混用，应建设明暗隔离沟，用于污水和雨水的排放，同时也起到场内隔离的作用。隔离区建设隔离猪舍和养殖废弃物设施，并作为有机肥料的集散地。

3.3 饲料、水、空气的卫生保障

养殖场通过配置自动饲喂系统、自动饮水用药系统和圈舍空气过滤系统，保障饲料、饮用水、舍内空气的卫生和安全。封闭式饲料输送管道更大程度隔离了生物病媒和饲料的接触，进一步阻断传播途径。自动饮水用药系统通过对饮用水过滤、杀菌为猪只提供干净的水。空气过滤系统可去除环境中的有害气体、尘埃和病原体，保障圈舍空气的清新、洁净。

3.4 养殖场机械化消杀

3.4.1 对进场车辆、人员和物资的消杀

养殖场应根据实际需要合理设置进场消杀设施设备，大中型养殖场应配备较为完善的消杀设施设备，小型养殖场可采取较为灵活的消杀方式，相关配置参考表 4。以养猪场为例，大中型养猪场适宜建设综合式消杀站，一般设置在距离生产区 1~3km 处，包括车辆洗消中心、人员消毒通道和物资消杀室，具备对外来车辆、人员及物资全面消杀的功能，车辆洗消中心应满足日常进场车辆频次和车身长度要求。小型养猪场适宜联合多个距离较近的养殖场共同建立洗消中心，以降低建设成本和提高设施设备使用效率，同时充分利用分布式消杀设备，并应设置人员消毒通道。

表 4 畜牧养殖场进场消杀设施设备参考配置

规模	设施设备
大规模	人员消毒通道、车辆洗消中心（自动清洗-烘干系统）、车辆消毒通道、物资消杀室
中规模	人员消毒通道、车辆洗消中心（手动清洗-烘干系统）、车辆消毒通道、物资消杀室
小规模	人员消毒通道，车辆洗消中心（联合多个养殖场配备）或配备移动式高压泡沫清洗一体机、电动超低容量喷雾器

车辆进场消杀包括车体表面消杀和驾驶室消杀。车体表面消杀环节包含预清洗、泡沫清洗、深度清洗、喷雾消杀、高温烘干消杀。车体表面消杀完成后，进行驾驶室喷雾消杀，采取雾滴直径 20~50 μm、10~20 μm 各消杀一次，喷雾持续时间 1~5min（见表 5）。喷雾结束 5min 后司机方可进入驾驶室。

表 5 车辆进场消杀设备及参数推荐值^[4]

环节		设备名称	参数名称	推荐值
车体表面 消杀	预清洗	自动化车辆清洗设备或高压清洗机	压力 流量	16~18Mpa 20~25L/min
	泡沫清洗	自动发泡设备（或带有发泡功能的高压清洗机）	压力 流量 挂泡时间	6~8Mpa 70~90L/min 10~15min
	深度清洗	自动化车辆清洗设备或高压清洗机	压力 流量	16~18Mpa 20~25L/min
	喷雾消杀	自动喷雾消杀设备或电动超低容量喷雾器	雾滴直径	80~150μm
	高温烘干	高温烘干设备	温度 持续时间	65℃ 20~30min
驾驶室 消杀		电动超低容量喷雾器	雾滴直径 持续时间	20~50μm 10~20μm 1~5min

人员消毒包括体表消毒、手部消毒、足底消毒、上呼吸道消毒等。人员体表消毒使用喷雾设备，鞋底、手部可使用消杀盆、消杀池等。喷雾消杀剂的选择非常重要，必须安全高效。应注意人员消毒的有效性，避免人员恶意逃避消毒，必要时，可采用自动控制的门禁系统来保证消毒时间。对进入场区物资进行消杀时，要特别关注物资的化学特性，谨慎选择消杀剂，避免消杀剂与物资产生化学反应。医用物质需使用专用的医用高压灭菌锅消毒。人员与物资进场消杀设备及参数推荐值详见表 6。

表 6 人员与物资进场消杀设备及参数推荐值^[4]

环节	设备名称	参数名称	推荐值
人员进场消毒	自动喷雾消杀设备或电动超低容量喷雾器	雾滴直径	40~60μm
		持续时间	1~5min
物资进场消杀	自动喷雾消杀设备或电动超低容量喷雾器	雾滴直径	5~10μm

3.4.2 生产管理区消杀

对生产管理区内的卫生间、食堂、垃圾站等人员密集或污染源较多的重点区域外围进行喷雾消杀。通过布设鼠饵站、捕蝇笼、诱捕灯、驱鸟灯等设施，对老鼠、蚊蝇、鸟类等传染途径进行控制。食堂消杀时应避免消毒剂喷洒至食物或餐具表面。生产管理区消杀设备及参数推荐值详见表 7。

表 7 生产管理区消杀设备及参数推荐值^[4]

内容	设备名称	参数名称	推荐值
室外环境	移动式喷雾消杀设备	雾滴直径	80~120 μ m
		喷幅	12~15m
		频次	1 次/天
	鼠饵站	间距	15~30m
	全自动智能捕鼠器	覆盖面积	7.5 亩
	激光驱鸟器	覆盖面积	12 亩
室内环境	电动超低容量喷雾器	雾滴直径	60~80 μ m
		频次	1 次/2 天
	粘鼠胶	间距	2 处/15 m ²
	捕虫灯	覆盖面积	1 处/（80~150 m ² ）

3.4.3 生产区消杀

生产区消杀包括对进入生产区人员的消毒、圈舍的带畜消杀和空舍消杀、生产区外部环境消杀。

由于进入生产区的人员会在舍间活动，并与其他区域的工作人员接触，容易携带病原体并传播，应在人员进入圈舍前进行必要的消毒。人员的消毒程序是：体表喷雾消毒—洗澡更衣—体表喷雾消毒。人员体表喷雾消毒设备与参数推荐值见表 6。工作服最好专人专用（也可配置一次性工作服），并在更换后进行全面的消毒。消毒的次数取决于人员往返生产区与生产管理区的次数。

圈舍消杀分为带畜消杀和空舍消杀。猪舍带畜消杀主要在猪的抵抗力低下期，也就是猪传染病的高发期，杀灭猪体表和猪舍空气中悬浮物上的致病微生物，降低感染风险。大中型养猪场可在圈舍内布设自动喷雾消杀系统，系统可按设定时间程序进行作业，喷雾消杀范围应覆盖圈舍，无卫生死角。养殖场选用的消杀剂应不会对牲畜和饲养员的呼吸道造成损伤。空舍消杀是养殖场内阻断疫病传播的重要手段，避免疫病在代次间传播。空舍消杀环节一般包括预清洗、泡沫清洗、深度清洗、喷雾消杀、病媒有害生物消杀。圈舍清畜后，对圈舍内粪便和污物进行清洗，应避免水冲，防止扩大污染面，可考虑喷雾消毒。圈舍清理后，对空舍进行充分的消杀，按由上而下的原则用喷雾器对顶棚、墙面、猪栏、床面和排污沟进行消毒，一般在喷雾消毒后，对空舍做密闭熏蒸消毒，空舍消杀后要完全密闭 72h 以上。对于受到污染的圈舍，可使用火焰消毒器对猪栏、地板、食槽等猪舍内非可燃材料设施设备表面消杀，从而彻底杀灭病原体。圈舍消杀喷雾设备及参数推荐值见表 8。

表 8 圈舍消杀喷雾设备及参数推荐值^[4]

环节	设备名称	参数名称	推荐值
带畜消杀	自动喷雾消杀设备或电动超低容量喷雾器	雾滴直径	50~80μm
空舍消杀 (每次清舍后)	预清洗	集中式恒压清洗设备或高压清洗机	压力 16~18Mpa
			流量 20~25L/min
	泡沫清洗	自动发泡设备或带发泡功能的高压清洗机	压力 6~8Mpa
			流量 70~90L/min
			挂泡时间 10~15min
	深度清洗	集中式恒压清洗设备或高压清洗机	压力 16~18Mpa
			流量 20~25L/min
	喷雾消杀	自动喷雾消杀设备或电动超低容量喷雾器	雾滴直径 50~80μm

生产区外部环境消杀对象包括地面、房舍、设备、道路等，采用喷雾消杀（见表 9）。对垃圾站、化粪池、污道、畜禽产品中转区、料塔、水槽等重点疫病防控区域，可采用高

压清洗机进行带有消杀剂的高压消杀。生产区内根据情况布设鼠饵站、捕蝇笼、诱捕灯、驱鸟灯等设施。

表 9 外部环境消杀设备及参数推荐值^[4]

环节	设备名称	参数名称	推荐值
喷雾消杀	移动式喷雾消杀设备	喷幅	12~15m
		雾滴直径	80~120μm
		频次	1 次/天
高压消杀	高压清洗机	压力	16~18Mpa
		流量	20~25L/min

3.4.4 病死猪无害化处理

对病死猪处理应严格遵循控制污染传播、保护环境和人类安全的原则。养殖过程中发现死亡猪只时，应第一时间进行隔离，由专业人员在养殖场内指定区域检查，并使用病死猪无害化处理设备进行无害化处理或由专业机构运至指定地点进行处理。对炭疽病等人畜共患烈性传染病导致的死猪须使用焚尸炉处理。转运牲畜尸体应使用专用搬运车或冷藏运输车，注意做好防护，避免污染传播。若怀疑发生疫情，应按照国家有关规定及时上报和处置。在此期间，应根据疫病类型有针对性地选择消杀剂，加强对生产区域内的消杀。病死猪无害化处理设备作业时应按照使用说明书严格控制温度、时间和压力等参数，保证尸体处理效果。作业产生的尾气、废水、残渣等按照国家有关规定及时处理。

3.4.5 机械化消杀与养殖工艺、消毒剂选用的结合

对人畜共患病的科学防控，要注意机械化同养殖工艺及消毒剂选用的密切结合。例如，针对猪在 15 日龄前、40~60 日龄抵抗力低下期，也即猪传染病高发期，要加强圈舍带畜机械化喷雾消杀，可有效防控疫病。再如，导致猪 A 类传染病的口蹄疫病毒是一种无囊膜病毒，低温条件下可以长期存活，并对热和干燥有一定的抵抗力，但是对酸碱敏感，在 pH<6 和 pH>9 时可以迅速灭活，pH<3 时可以瞬间失活，针对病毒的这些特性，选择 3%聚醇醚络合碘作为消毒剂，发挥碘的杀菌性作用和强酸性特点，按 1:500 稀释后对口蹄疫病毒的消杀效果明显。所以，结合养殖工艺，选择正确的消毒剂，并严格遵循防控规程，才能更好

地发挥机械化的效能。

3.4.6 制约机械化防控的主要因素

目前，在亚太地区的畜禽养殖管理中，机械化防控的应用水平普遍不高，制约其发展的主要因素有以下几个方面。

（1）疫病的整体防控能力不足。2003 年严重急性呼吸综合征（SARS）、2009 年的甲型 H1N1 流感和 2019 年以来爆发的 Covid-19 病毒都对人类造成巨大损失，多数国家面对重大疫病的整体防控能力，无论是管理层面还是技术层面的应对措施不足是明显的。在疫病防控体系上的能力建设、资金和装备投入，在防控技术的安全性、可靠性、创新性进步与应用，均需有更大的提升。

（2）小规模 and 散户养殖的疫病防控非常薄弱。亚太地区多数国家散户较多，养殖的机械化程度非常低，主要靠人力作业，机械化防控难以实现。而且，直接从事养殖的人员，防疫管理人员和饲料生产、装备制造、养殖服务等人员，对“以防为主”的疫病防控方针遵循不够，整体防控的概念缺失，在防控疫病上依赖药物和疫苗，导致防控措施难以实施到位，机械化防控手段也难以被更大范围地采用。小规模养殖和散户养殖疫病的发生，会增加养殖业的整体风险。

（3）机械化疫病防控研发与应用体系尚不健全。疫病防控以疫病机理和牲畜生理的研究为基础，机械化疫病防控需要把握防控空间、时间以及同药剂的有效结合，才能有效杀灭病原体和生物媒介、阻断传播途径、隔离易感人畜。在多数亚太国家，防疫机械研发应用的体系尚未健全，疫病防治与机械化技术融合集成较弱，在用机械作业的有效性整体水平不高。如防疫中喷雾消杀中同植物保护的常量喷雾混用，导致防疫失效或对人畜伤害。

（4）牲畜养殖的专业化服务组织的作用发挥不充分。专业化服务是养殖业重要的细分服务产业。在牲畜养殖的生产环节，养殖废弃物处理和疫病防控专业化特征明显。受养殖效益和养殖业从业者认识水平的影响，大中型规模养殖场通常选择专业的社会化服务，如畜禽尸体无害化处理、病媒的消防服务等，但小规模养殖场和散户还主要依靠自身能力开展相应工作，效果同专业化作业差距较大。

3.4.7 机械化防控面临的机遇与挑战

随着农机工业、信息化技术的高速发展，特别是自动控制技术、传感器技术在传统机

械上的广泛应用,大数据和物联网技术同机械化的深度融合,使机械化在疫病防控上可以发挥更大作用,更具针对性。同时,更需要注重机械化同养殖工艺和药物防控技术的融合。非洲猪瘟和新冠病毒正在危害养殖业和人类生存安全,世界动物卫生组织(OIE)的一份报告显示,2020年6月26日至7月9日期间,亚洲因非洲猪瘟导致的猪只死亡和扑杀的数量为16894只,占同期全球总数的96.2%。在应对疫情方面,亚太地区总结了防控不足的教训,也积累了诸多有效的防控经验。日本早在1951年就颁布了《家畜传染病控制法》,对预防疫病爆发、传播及防控措施等做了明确规定,并于1953年由农林水产省颁布了该法实施细则,其中明确了喷雾器等消杀防疫设备的应用[5][6]。印度尼西亚在2011年成立了国家人畜共患病委员会,通过国际合作、共享数据以及加强实验室诊断能力,提升疫病防控能力。同时也面临着政府管理权限不集中、预算不足、地域分散以及地方兽医专业人员不足等诸多挑战[2]。中国政府已要求将生物安全纳入国家安全体系,同时系统规划国家生物安全风险防控和治理体系建设,全面提高国家生物安全治理能力,并将尽快出台生物安全法,加快构建国家生物安全法律法规体系、制度保障体系。全体养殖者对“整体防控”理念和“以防为主”方针认识进一步强化和统一,完善生物安全有关的软、硬件设施设备配套成为共识。要加快机械化防控技术和经验的总结提炼,满足对生物安全风险防控的要求。

标准化规模养殖是现代养殖业发展的主要方向,但在一定时期内,规模养殖同大量散户养殖将继续并存。一方面要加快规模养殖场的标准化建设,另一方面要发挥“公司+农户”模式、“小区养殖”模式的优势,帮助和带领散户养殖融入到现代养殖业,提高养殖业的整体规模化程度。针对不同规模养殖场制定机械化防控装备配置规程,鼓励社会组织开展专业的消杀防控服务,为规模养殖场和散户提供有效的疫病防控解决方案。

4. 养殖机械化发展措施与建议

亚太各国应根据本国国情,互相借鉴发展经验,制定发展规划及切实可行的行动方案,不断提升牲畜养殖规模化、机械化和智能化水平。本研究对亚太地区牲畜养殖机械化发展的措施与建议如下。

4.1 加强科技创新与新技术推广: 加大养殖装备技术与牲畜健康、疫病防控、环境控制技

术的集成创新，加强新材料和信息化技术等基础研究，加快自动化、信息化、智能化装备技术在统计监测、育种、生产性能测定上的应用，构建安全稳定的养殖业物联网，开展农机试验鉴定和示范推广，提高绿色、安全、高效的畜牧机械的供给。

4.2 鼓励适度规模养殖和场区标准化建设：坚持养殖业与种植业协调发展，鼓励适度规模养殖，就近就地消纳养殖废弃物，推广有机肥还田利用。推进养殖场区标准化建设，支持设施养殖模式创新、科学规划、宜机化设计，加强规模化养殖设施装备的集成配套技术指导，推动养殖全过程机械化。

4.3 坚持疫病科学防控和机械化的应用：将疫病防控纳入牲畜养殖行政管理法律法规；制定养殖场机械化消杀技术规范，并加强对设备使用的技术指导；支持规模化养殖场（区）配套自动环境监测和控制技术装备、畜禽粪污资源化利用和病死畜禽尸无害化处理设施装备，降低因散户防疫失效对养殖大环境防控的风险。

4.4 发挥市场化、社会化和专业化服务组织作用：推广“公司+农户（家庭农场）”的养殖模式，引导和扶持小养殖户向标准化、规模化养殖方向发展。发挥市场作用，鼓励社会化服务组织开展高效青贮饲料（草）收获加工、粪污资源化利用、畜产品贮运、安全净化防疫等环节的专业化服务。

4.5 加大政府扶持和金融保险支持：政府建立规模化养殖场建设激励机制，加大对养殖场户购置畜牧机械装备的扶持；鼓励金融机构开展牲畜机械装备抵押贷款，政府实施临时贷款贴息；提高牲畜政策性保险覆盖面。

4.6 开展从业人员培训教育和广泛的交流合作：加大对养殖场（户）从业人员培训，强化畜牧设施装备知识学习，培养畜牧机械操作、维修等技术人才，提高全行业人员的素质。各国农机化部门应加强与动物健康、疫控、环保等其他部门协作；各国间加强经验交流和数据共享以及与世界卫生组织、世界动物卫生组织、联合国粮食与农业组织等国际组织的密切合作。

5. 小结

亚太区域各主要畜种养殖的规模化、机械化具有巨大发展潜力，机遇与挑战并存，应充分发挥机械化的作用，做好规模化养殖人畜共患病防控。同时，注重对小农户的帮扶和带动，借助社会化服务整体提升牲畜养殖管理水平，解决畜产品有效供给、环境保护、疫病防控的问题，保障人类健康和促进区域养殖业健康可持续发展。

参考文献

- [1] WHO-Regional Office for South-East Asia. Asia-Pacific workshop on multisectoral collaboration for the prevention and control of zoonoses[R/OL] <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204792/B51110.pdf>.
- [2] 中国农业农村部畜牧兽医局, 全国畜牧总站, 中国畜牧兽医统计 2019, 北京: 中国农业出版社, 农村读物出版社 2019.
- [3] 董红敏, 《推动环境治理 促进乡村振兴—第二次全国污染源普查畜禽养殖业情况解读》中国环境报, 2020-06-30 (3)
- [4] 农业农村部农业机械试验鉴定总站, 农业农村部农业机械化技术开发推广总站《养殖场机械化消杀防疫技术》<http://www.amic.agri.cn/secondLevelPage/info/30/92588>.
- [5] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan. Act on Domestic Animal Infectious Diseases Control. https://www.maff.go.jp/e/policies/ap_health/animal/attach/pdf/index-19.pdf.
- [6] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan. Ministerial Ordinance for Enforcement of the Act on Domestic Animal Infectious Diseases Control. https://www.maff.go.jp/e/policies/ap_health/animal/attach/pdf/index-6.pdf.