

陆昌华, 胡肄农, 何孔旺, 等. 动物疫病防控与兽医信息技术应用研究进展[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1189-1195.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.037

动物疫病防控与兽医信息技术应用研究进展

陆昌华, 胡肄农, 何孔旺, 谭业平, 郁达威

(江苏省农业科学院兽医研究所/农业部动物疫病诊断与免疫重点开放实验室/国家兽用生物制品工程技术研究中心, 江苏南京 210014)

摘要: 回顾信息技术在国内外动物疫病防控的应用概况, 针对中国兽医信息技术应用的现状及与国外的差距, 提出“十三五”期间如何建设具有一定水平, 又有中国特色的重大动物疫情应急指挥平台。建议将风险分析与预警预报技术相结合, 提高 GIS 系统与风险分析在预警体系中的应用。进一步开展动物疫病综合防控信息化工作, 替代传统防疫指挥调度管理方式, 给重大动物疫病指挥部门带来一种全新高效的防控指挥模式。利用动物疫病大数据与数据挖掘技术及其模型方法论实现预警决策模型, 构建智能化畜产品质量安全管理创新体系。使用大数据处理技术, 分析新的数据类型和未充分利用的数据源, 为未来智能化远程动物疾病诊断提供技术支撑, 有效提高动物疫病防控的信息化管理程度。

关键词: 动物疫病; 防控; 信息技术

中图分类号: S851.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)05-1189-07

Research progress of information technology application in animal disease prevention and control

LU Chang-hua, HU Yi-nong, HE Kong-wang, TAN Ye-ping, YU Da-wei

(*Institute of Veterinary Medicine, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Veterinary Biologicals Engineering and Technology, Ministry of Agriculture/National Center for Engineering Research of Veterinary Bio-products, Nanjing 210014, China*)

Abstract: Based on current status of domestic veterinary information technology application and the gap between China and other developed countries, suggestions on building an emergency response platform for major animal epidemics during the 13th Five-Year Plan was proposed. It was suggested that: ①GIS system combined with risk analysis should be applied more in early warning system; ②traditional epidemic prevention should be replaced by a new and efficient response system involving informationalization of animal disease comprehensive control and prevention; ③an early warning decision-making model should be developed by using big data of animal diseases, data mining and model methodology; ④an intelligent management system for animal products quality safety needed to be constructed; and ⑤ big data processing could be used to offer a technical support for the remote diagnosis of livestock diseases by analyzing new data types and underutilized

data resources so as to improve the informational management of animal epidemic prevention and control.

Key words: animal epidemics; prevention and control; information technology

收稿日期: 2016-03-02

基金项目: 农村领域国家科技计划项目(2015BAD12B04-1.2); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(13)5031、CX(16)1006]; 江苏省农业科学院基本科研业务专项项目[ZX(15)3003]

作者简介: 陆昌华(1942-), 男, 浙江定海人, 研究员, 主要从事畜牧兽医信息技术、动物卫生经济与动物卫生风险评估研究。(E-mail) changhualu@163.com

现代信息技术应用于畜牧业, 大致始于 20 世纪 50 年代, 经历了由简单到综合、由低级到高级、由单机到网络化的发展过程。在短短的几十年中, 计算

机的信息处理充分发挥了快速和精确的优势,早已使它超越了“计算”这一基本功能,成为一种十分有效的综合信息处理工具。近年来,信息技术与传统畜禽养殖业的结合,除在畜牧业生产应用取得良好成绩外,还在动物疫病防控中发挥重要作用^[1-4]。本文重点阐述兽医信息技术在动物疫病防控中的应用。

1 兽医信息技术在动物疫病防控中的应用

1.1 计算机应用于疾病诊断与防治

20世纪70年代美国首先用计算机技术辅助诊断小动物。20世纪80年代美国利用计算机分析脑电图(EEG)来测定小鸡维生素B₆缺乏症,英国研制“免疫接种备忘”程序,日本对养殖场兽医卫生检验及对策进行计算机管理^[1]。20世纪90年代初美国私人兽医采用笔记本电脑到农场巡回医疗。日本东京大学杉木等以大型养鸡场积累的资料为基础,研究蛋鸡产蛋生产预测模拟模型,用于诊断疾病。国内于船等^[4]、张泉鑫^[5]、陆纲^[6]、张信等^[7]也进行相应研究。

随着中国养鸡业发展,集约化、机械化程度越来越高,要尽快降低疾病造成的经济损失除引进、培育好品种之外,更关键的是提高成活率、生产率^[4,8]。1992年许剑琴等^[9]、1995年刘军等^[10]分别推出鸡病专家系统,同时作者主持承担了农业部“八五”重点攻关项目“鸡常见疾病诊断专家系统”(Expert System about Chicken's Common Diseases, ESCCD)工作^[11-12]。在ESCCD研究中,解决了传统专家系统较难解决的问题,但因鸡群发病种类多,发病机理各异,症状复杂多变,受地域、季节和环境等外部因素影响较大,用产生式规则完整描述如此复杂系统,势必因规则组合爆炸导致系统无法实现,ESCCD在建立模糊规则时进行简化,将部分病症的典型症状合并为“症候群”进行描述,该方法可减少规则数,提高诊断命中率,但规则域未能完整覆盖疾病诊断问题空间或彼此产生交叠,可能导致不合理诊断结果,在一定程度上降低了系统的适应性。验证病历使用联机检索的诊断报告,多数出自兽医专业刊物,兽医专家根据报告,对规则前件(前提)加权后输入ESCCD中,达到80%完全符合率,基层使用者因临床水平较低或受实验条件限制,对临症信息,特别是

关键信息加权不够准确,会降低诊断正确率。ESCCD缺乏自学习功能,获取专家知识是建立ESCCD的“瓶颈”。为获得较完整的鸡病诊断规则和收集病例,开发者与兽医专家进行长达2年的合作,利用神经网络技术^[13],从知识表示、学习算法等入手^[14-15],提高了诊断符合率。与国外同期研究成果——利用神经网络对鸡腹水症1种疾病进行诊断^[16]相比,作者采用该方法提出模式样本重组的比例训练BP算法,对30种常见鸡传染病、营养代谢和寄生虫病进行了优化,同时又加入多媒体技术,让用户任意查询9大类83种鸡病的病原、症状、诊断、治疗和防治等信息,以及对诊断过程进行推理解释等,为用户配上一套百万字的鸡病诊断及养鸡咨询电子书,使ESCCD更加实用。

1.2 计算机应用于家禽养殖场

发达国家蛋鸡生产趋于工厂化,美国 1.0×10^6 以上规模蛋鸡企业已占整个 2.2×10^8 羽蛋鸡饲养量的50%以上。鸡舍的自动控制系统主要通过传感器与计算机以鸡舍为单元进行管理。1989年Cornell大学开发的家禽管理专家系统,将家禽生物学模型和鸡舍环境控制模型结合到专家系统,在控制鸡舍环境温度,计算通风和加热成本时,该系统能够在饲料、燃料、电和肉鸡等价格及室外温度的不同条件下,确定获得最大经济效益的鸡舍温度。Thorne等^[17]研制了蛋鸡高湿度日粮饲喂自动化系统,Burnett等^[18]报道了自动控制自然通风系统(ACNV)的性能及其在一个蛋鸡场的应用。Filmer^[19]利用FLOCKMAN系统来控制集约化鸡舍的温度、相对湿度、氨水平和通风等环境条件,Sergeant等^[20]报道了家禽的监视系统。

20世纪80年代末,江苏省农业科学院农业现代化研究所与南京市汤泉机械化养鸡场共同承担“机械化蛋鸡生产电脑辅助管理系统”的研究^[21-22]。“九五”期间,江苏省农业科学院农业现代化研究所又主持国家攻关专题“蛋鸡规模化养殖场生产管理系统技术与开发”^[23-25]。与国外同期比较,德国Big Dutchman公司研制的控制系统^[26],实现的功能包括温度、湿度、氨气浓度的环境参数采集,饮水量、采食量数据的自动采集,鸡舍温度、通风、喂料的自动控制等。江苏省农业科学院农业现代化研究所研究的蛋鸡规模化养殖场生产管理系统技术,除饮水量和耗料量数据采集因国内养鸡场当时饲养的实

情,尚未实现外,其他功能均已实现,在此基础上,还利用专题组已有移动摄像监视专利,实现了监测、远程监视图像传输和设备故障报警等功能。创建了免疫接种备忘系统,它可对免疫信息进行管理,提供鸡法氏囊和新城疫首免日龄预测向导,根据母源抗体水平,推荐最佳首免日龄,达到更好的免疫效果。建立抗体测定档案库,探讨免疫前后抗体滴度的变化趋势,根据既定的免疫程序制订免疫日历,起到备忘录作用,更好地安排生产,达到卫生保健目的。

1.3 计算机应用于检疫

20世纪90年代,美国动植物检疫局利用计算机在各口岸、各进出口贸易国建立监测点,疫情信息从各监测点通过信息网络及时传输到检疫局中心控制室,中心控制室可从计算机网络上随时查询到各监测点的疫情动态,包括主要动物疫情检疫结果,某时间内疫病发生及分布情况等。借助特殊软件对疫情进行科学准确地分析检测,在全国或局部范围内采取严密的防范措施,同时,对当前重大疫病的病例进行解剖或取样检验,开展有效科学研究,为防病治病、疫苗药物的制造提供及时可靠的科学依据。计算机网络信息凭借快速、准确、全面等优点,成为动植物检疫工作的得力助手^[27-28]。

1.4 计算机应用于动物疫情

国外发达国家较早意识到动物疫情防控和GIS系统建设的重要性。美国1996年就建立了“国家动物卫生报告体系”(National animal health report system, NAHRS),澳大利亚也有功能完善的“国家动物卫生信息系统”(National animal health information system, NAHIS),新西兰1991年就开始着手建立用于紧急动物疫病控制的信息系统EpiMan-IMS^[29],欧盟近年来也建立了包括重大动物疫病通报系统(ADNS)的预警体系^[30],这些系统目前正在重大动物疫病防控中发挥着重要的作用。

“农业血防管理科学的研究”解决了中国血防工作长期存在的疑点和难点,提出农业血防配套新技术,改善和提高中国动物疫病综合防治及政府对人畜共患病——血吸虫病的项目投资所取得的效果。建立动物血吸虫病及其有关情况的信息库、区域性的评估软件系统和疫病控制等相关模型,将指标体系、分析评价模型、调查数据、地理图形等多方面与电脑技术相结合,建立了具有卫生血防、生态与资源、畜牧兽医技术经济、农业技术经济等多学科融

于一体的管理系统。通过资源开发利用与灭螺防病密切结合的技术经济指标体系与评价方法,对多地区、多典型单位进行可行性评价。它彻底改变了中国长期以来血防工作投入高,效益低的状况,走上了血防工作促进农村经济发展,经济发展增强血防后劲,使血防工作进入良性循环,开创中国血吸虫病疫区致富的新路子^[31]。

“全国动物卫生管理地理信息系统”^[32]开发基于GIS平台的动物疫情快报软件,汇总分析各省、市、自治区上报数据,让重大疫情、疫点和病死畜禽数量同步显示在地图上,为了解动物防疫工作进展,制定扑灭和控制疫病的有效对策提供依据。同时,在动物疫病防治效益评估与指标体系应用的基础上,评估中国动物疫病区项目建设成效。

2007年魏学义等^[33]开发了“辽宁省畜禽分布定位及重大动物疫病防控调度指挥系统”,通过互联网实现数据的上报和管理。上海、内蒙、浙江等省、市、自治区也开展了基于规范的重大动物疫病防控信息报送工作,解决了格式不统一、汇总繁琐、数据对比与获取困难等问题。GIS是一种基于空间数据应用的信息技术,把地理位置和属性有机结合起来,根据实际应用需要,借助其独特的视觉化效果和空间分析功能,准确地提供图文并茂的分析结果,满足各种辅助决策需要^[34]。滕翔雁等^[35]报导了GIS在动物卫生领域的应用,根据全国重大动物疫情应急指挥体系,以及已颁布的《国家突发重大动物疫情应急预案》、《重大动物疫情应急条例》和《国家突发重大动物疫情监测、预警与组织应急工作规范及安全应急处置技术规范》等条例与规范,指出中国在处理动物紧急疫情的方法上同发达国家相比尚有一定差距,动物疫病的监测与控制手段尚未规范,常常不是预防在前,而是处理于后,即使处理也往往因为对疫区地形地貌缺乏了解而无法采取相应布控措施,从而造成不可挽回的巨大损失。李万辉等^[36]报导了GIS技术在动物疫病防控中的应用,阐述疫点的确认,疫区和受威胁区的划定,道路路口的封锁,应急资源的调配都与空间信息密切相关,指出这些相关性注定GIS技术在重大动物疫情应急指挥中的重要作用。林富明等^[37]也开展了城市突发公共事件应急指挥系统中GIS应用研究,提出了建立重大动物疫病应急指挥平台,完善重大动物疫病应急指挥体系是信息管理自动化和科学化的必然趋势。

20世纪末到21世纪初,欧盟、加拿大、日本、澳大利亚和美国等优先考虑家畜和畜产品的可追溯管理以及动物卫生的风险评估,认为它将直接影响一个国家畜产品的国际市场竞争力^[38],并在畜禽养殖业中应用物联网技术,提高畜禽养殖业的标准化、健康化和智能化。如北京资源集团和中国农业大学组成联合研发团队,开发“4S养猪物联网”系统,可对猪只进行身份识别、发情监测、营养调控、疾病诊断和环境控制,实现动态、远程和智能化管理^[39]。

随着中国养殖业规模不断扩大,养殖密度和流通半径不断加大,动物疫情风险日益严峻。白维生等^[34]开发基于GIS的北京市动物疫病应急指挥平台。在分析动物疫病防控业务流与数据流基础上,创建疫病防控综合决策模型。该模型在重大动物疫病应急指挥中对摸清底数,快速实施起到重要作用。如,2009年11月北京顺义区板桥猪场发生口蹄疫,相关部门启动应急预案,通过平台划定疫点、疫区、受威胁区,并根据输入疫点位置、防控半径、路网及补贴标准等,系统自动输出疫区(3 km范围内)与受威胁区(3~8 km范围内)养殖场分布、扑杀数量、免疫数量、补贴费用及封锁路口等数据。在有效信息的指导下,快速控制了板桥猪场疫情蔓延,并及时完成养殖户补贴费用等善后工作。系统不仅为疫情控制与科学决策提供及时、准确的信息,还有效指导本次疫情及时处置,对控制疫情蔓延起到重要作用。刘星等^[40]开发了“郑州市重大动物疫病综合管理软件”。包括养殖基本信息、防疫员信息、疫苗供应、免疫工作、疫病监测、预警预报和防控物资等10个方面,是综合一体化的动物防疫体系办公软件。该软件涵盖了动物疫病防控动态监控系统,可评估动物疫情风险,开展疫情预警预报,实时了解基层信息,实现动物疫病防控自动化与信息化。叶承荣等^[41]开发了上海浦东新区重大动物疫病防控信息化管理平台。可在GIS地图标示出疫点和疫区的动物养殖、免疫现状及防疫物资储备状况,为疫情快速处置建立直观的管理平台。

1.5 计算机应用于动物卫生经济学

20世纪80年代国外在动物疫病研究方面,开始将计算机与统计学、经济学等学科相结合,采用信息技术对畜牧生产的信息采集和加工,动物疫病防治的经济影响,决策方案的经济学评估(成本-效益分析)和仿真研究等理论方面进行探索。如关注口

蹄疫和布鲁氏杆菌病两大疫病,采用仿真方法来衡量口蹄疫对肉牛和奶牛的经济学影响,并设计模型模拟对疫病流行的肉牛和奶牛群进行控制的成本效益分析^[42-44]。20世纪90年代欧美建立了一门新的学科——动物卫生经济学(Animal health economics)。它采用经济学分析方法,对动物疫病控制措施的投入产出以及生产和贸易风险等一系列问题对经济的影响进行定量分析与评估,包括突发动动物疫病时的快速决策,采取合理的扑杀、免疫策略及资源分配等,通过与动物流行病学相结合,采用综合预防或控制动物疫病,以便在达到控制动物疫病,确保公共卫生安全的前提下,将经济损失降到最低。它与畜牧经济学的不同点在于:①在宏观(行业与国家)经济管理及决策层面,从疫病防治的投入产出角度研究相关的经济学问题;②在农场层面,采取科学养殖方式,减少疫病发生,并通过兽药残留控制提高产量与品质,从而增加经济效益;③在农户层面,关注动物疫病流行、国家政策措施和不同养殖模式给农户带来的经济收益。当前荷兰、新西兰、美国和澳大利亚等国已构建了较完整的动物卫生经济学理论体系,虽有些理论问题尚处探讨阶段,但应用研究已较为广泛^[42,45-47],如利用疾病控制风险决策模型对农场牲畜口蹄疫感染采用扑杀和免疫接种挂牌两种情况下的疾病经济损失进行模拟,把荷兰的3个发病区按牲畜感染疾病密度的不同分为低(1 km^2 感染口蹄疫的猪和牛加起来低于2.1头)、中(1 km^2 感染口蹄疫的猪和牛加起来为2.1~3.3头)、高(1 km^2 感染口蹄疫的猪和牛加起来为3.4~4.4头)3个密度级别,同时,对引入牲畜口蹄疫的风险与经济后果进行疾病控制风险决策,得出有效防止与消灭口蹄疫的计划^[48]。

2 展望

当今,动物疫情信息管理系统的研究和开发越来越多样化和专业化,与各个地区的日常工作和发展规划结合的越来越紧密。建立基于GIS的重大动物疫情应急指挥平台,实现了疫情分析、疫区布控、人员物资调度与动物防疫、检疫基本信息浑然联结,代替了传统的防疫指挥调度管理方式,给重大动物疫病指挥部门带来一种高效的、全新的防控指挥模式,为动物卫生监管部门的疫情信息化管理提供技术手段,有效提高动物防疫队伍的工作效率。未来,

建议全国在以下几方面进一步开展动物疫病综合防控兽医信息化工作。

2.1 提高 GIS 系统与风险分析在预警体系中的应用

(1) 风险分析与预警技术的关联与结合技术。根据现代预警原则的定义,相对于已经较为成熟的各类风险分析模型,预警面对更加模糊和不确定的信息,除了动物流行病学风险外,需要考虑到更多的社会和经济因素。在风险分析技术研究的基础上,如何定义和发展预警技术模型,是预警体系建设的关键。

(2) 计算机智能识别与实验室血清学诊断相结合。即通过各种分析模型的建立与应用,结合抗体水平,对动物疫病严重程度的流行病学图进行判读。

(3) 利用数据挖掘模型方法论指导实现预警决策模型。借鉴数据挖掘过程的方法论模型(CRISP-DM)对重大动物疫病预警体系进行业务和数据理解描述,确定建立预警指标体系和数据仓库的原则与方法;选取动物疫病预警体系的重要环节,采用业务流程建模(BPM)、面向对象的UML建模(OOM)对动物疫病预警决策流程进行业务建模,并为随后的数据建模打下良好的基础;对动物疫病预警信息进行数据仓库的概念数据建模(CDM)和物理数据建模(PDM)。通过数据清洗和抽取,得到用于辅助动物疫病预警决策流程的知识(模型)库;针对相关的比较重要的评估问题,建立评估模型,并结合数据挖掘技术和工具进行初步分析。

(4) 开发基于 GIS 的动物疫病应急指挥平台。在动物疫情预警应用中, GIS 系统均可展现最重要环节。如反应(Response)、分析(Analysis)、处理预案(Manage solutions)。即在剖析动物疫病防控业务流与数据流基础之上,创建疫病防控综合决策模型。进一步采用该模型进行复杂空间的叠加分析,如聚集密度分析、空间排序、影响范围分析和空间关联度分析。应用①疫病空间分析,②空间和时间发展趋势分析,③潜在高危群体分析,④危险因素分层分析,⑤资源分配评估,⑥疫病监控规划,⑦持续疫病监测控制,⑧疫病预测预警。即可通过输入疫点位置、防控半径、路网及补贴标准等,能输出疫区(不同半径)养殖场分布、养殖量、扑杀数量、防疫数量、补贴费用及封锁路口等信息。对政府在重大动物疫病应急指挥中摸清底数,快速实施起到重要地决策

作用。

(5) 动物疫病监督数据仓库构建。通过系统收集动物疫情、畜牧业生产、动物防疫、动物检疫及相关工作的信息数据,建立动物疫病监督数据仓库,将为后续建立动物疫病风险评估及预警决策模型提供坚实的数据支撑,为建立无规定动物疫病示范区和国家现代畜牧业示范区提供科学的管理手段。

2.2 动物疫病大数据与数据挖掘

(1) 数据仓库的扩展

通过整合大数据和数据仓库^[49],提高操作效率。优化数据仓库,使其支持新的分析类型。首先使用大数据技术为新数据设置一个暂存区域或着陆区,然后再确定应该将哪些数据转移到数据仓库,最后使用信息整合软件和工具从仓库和应用数据库卸载不常访问的数据或过时的数据。

(2) 安全/智能的扩展

实时监控网络安全,检测欺诈,降低风险。使用大数据技术处理和分析新的数据类型(如畜禽舍传感器使用、远程动物疾病图像诊断、电子邮件)和未充分利用的数据源,大幅度地提高智能化、安全性和法律执行洞察力。

规模养殖场疫病风险评估,生物安全隔离区,动物疫病影响与防控的经济学评估包含了大量的数据信息,通过对风险分析过程数据进行监控,及时发现异常波动,并制订相应干涉措施,是保证风险评估目标最终得以实现的关键。

2.3 智能化畜产品安全质量管理创新体系的构建

动物疫病综合防控兽医信息化的未来,提出智能化畜产品安全质量管理创新体系的构建。针对畜禽养殖信息化、智能化与自动化,采用传感器与RFID电子标识,建立基于动物及其产品标识技术的全程溯源管理。利用二维码和电子耳标唯一性的物理定位功能对动物进行标识,有利于养殖过程中对每头或每批牲畜的特征属性、健康状态、疫病防控和出栏检疫等信息的采集,以及对牲畜在屠宰过程中的安全检测、脏器检疫、产品等级和分包装等全过程海量信息进行实时采集。通过无线3G网络和互联网宽带网络将数据上传到云端系统,并通过系统应用软件以及数学模型对所有数据进行分析比对、挖掘整理。系统可对动物进行早期疫情预警,还能对各阶段牲畜的存、出栏数以及市场需求进行正确评估。市民可凭票编号到系统数据查询平台上进行查询,

也可利用手机将发票上二维码图形发送到制定的网站上,网站根据发送来的二维码图形将该牲畜的主要信息反馈给消费者。

2.4 动物疾病远程诊断技术与防治咨询系统的开发

针对动物疾病,汇集领域专家疾病诊断经验知识,构建专家知识库。运用人工智能理论和自适应思想,通过兽医专家端、养殖场诊断平台和服务器端,实现网上诊断、网上治疗及网上学习功能,让专家知识和分析解决问题的能力得以继承和推广。用户可在公司内(通过 Intranet)或任何地区(接入 Internet)调用远程系统,解决动物疾病诊断问题。由于数据和领域知识的集中存贮,可实现诊断知识和治疗方案及药物的动态更新,能立即反映到用户系统的客户端,避免专家知识的孤立和老化。特别是当今 4G 手机拍照功能普及运用,构思利用大数据技术处理和分析新的数据类型(远程动物疾病图像诊断和电子邮件)以及未充分利用的数据源进行研发,将畜主或兽医所拍病畜的剖检照片图像与已收集的疫病剖检图像库进行比对,为未来智能化远程动物疾病图像诊断提供支撑。这样系统可克服中国中小型畜禽养殖场畜牧兽医技术人员不足,诊断水平和经验不够丰富的实情,提高动物疾病诊断符合率,减少疾病损失,提高企业总体生产水平,促进中国畜禽养殖业向高产、优质、高效方向持续发展。

参考文献:

- [1] 奥村纯市.日本家禽科学研究进展[J].薛怡,译.国外畜牧科技,1986(6):2-4.
- [2] 黄可鸣.专家系统导论[M].南京:东南大学出版社,1988.
- [3] 陆昌华.信息技术与自动化技术在现代畜禽养殖业中的应用及其展望[C]//杨旭.中国科技发展精典文库(中).北京:中国言实出版社,2003:1090-1096.
- [4] 于船,张泉鑫,黄金龙,等.应用电子计算机辅助中兽医辩证施治与针灸治疗选取穴的初步试验[J].中国兽医杂志,1984,(1):41-43.
- [5] 张泉鑫.电子计算机模拟中兽医对牛前胃疾病的鉴别诊断[J].中国兽医杂志,1985(2):62-63,10.
- [6] 陆钢.电子计算机模拟中兽医对马属动物胃肠卡他的辩证施治[J].中国兽医杂志,1989(11):44-45.
- [7] 张信,赵洪祥,尚德元,等.马常见真性腹痛病微电脑诊疗系统的研究[J].兽医大学学报,1985,5(3):205-214.
- [8] 黄松滨.世界蛋鸡业的发展状况及趋势[J].中国家禽,1997(11):1-3.
- [9] 许剑琴,张克家,范国雄,等.鸡常见群发病电子计算机专家诊断系统[J].中国兽医杂志,1992,18(2):40-41.
- [10] 刘军,于长江,孟庆全,等.鸡育雏期饲养管理及疾病诊断专家系统研究初报[J].黑龙江八一农垦大学学报,1995,8(1):83-86.
- [11] 陆昌华,李国梁,王启明.鸡疾病计算机专家系统 ESCCD 的研制[J].禽业科技,1994,10(3):50-52.
- [12] 陆昌华,李国梁,王启明,等.鸡常见疾病临床诊断计算机专家系统的研制[J].江苏农业学报,1995,11(4):41-46.
- [13] 焦李成.神经网络系统理论[M].西安:西安电子科技大学出版社,1990:242-251.
- [14] 陈明,赵瑞清.BP 网络的比例训练[J].计算机学报,1993,16(8):592-598.
- [15] 陆昌华,胡肆农,陆庆文,等.利用神经网络改进鸡疾病临床诊断专家系统[J].江苏农业学报,1999,15(1):42-46.
- [16] ROUSH W B, KIRBY Y K, CRAVENER T L, et al. Artificial neural network prediction of ascites in broilers [J]. Poultry Science, 1996,75(12):1479-1487.
- [17] THORNE D H, VANDEPOPULIERE J M, LYONS J J. Automated high moisture diet feeding system for laying hens [J]. Poultry Science, 1989,68(8):1114-1117.
- [18] BURNETT G A, MICHIE W. Performance of a perchery building with ACNV for laying hens [J]. Farm Building Progress, 1989(98):19-23.
- [19] FILMER D. Computer assisted control of growth in intensive poultry houses [R]. Australia; Recent advances in animal nutritional in Australia, 1991:298-311.
- [20] SERGEANT D, BOYLE R, FORBES M. Computer visual tracking of poultry [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1998, 21(1):1-18.
- [21] 陆昌华,包承玉,李国梁,等.20万只蛋鸡场计算机辅助管理系统的研制(一)[J].农业工程学报,1992,8(3):30-38.
- [22] 陆昌华,包承玉,李国梁,等.20万只蛋鸡场计算机辅助管理系统的研制(二)[J].农业工程学报,1992,8(4):54-59.
- [23] 陆昌华.计算机在20万羽蛋鸡场生产管理中的应用研究(初报)[J].农业工程学报,1997,13(1):157-159.
- [24] 陆昌华,王立方,胡肆农.20万羽蛋鸡规模化生产管理网络信息系统的设计[J].农业工程学报,1998,14(4):182-185.
- [25] 王立方,陆昌华,胡肆农.20万羽蛋鸡场电脑管理信息网络的实现[J].农业工程学报,1999,15(4):207-211.
- [26] TAUSON R, KJAR J, MARIA G A, et al. Applied scoring of integument and health in laying hens [J]. Anim Sci Pap Rep, 2005, 23(Suppl 1):153-159.
- [27] 沈朝建.紧急动物疫病应急管理在发达国家的运行机制及我国的工作重点[D].南京:南京农业大学,2002.
- [28] 李凯年.加强动物疫病防治实行全程检疫监管是确保动物源食品安全的关键[J].中国动物检疫,2003,20(4):7-9.
- [29] 尹国用.重庆市重大动物疫病 GIS 研究进展[J].畜牧市场,2010,95(11):22-23.
- [30] 向煜,韩熙,颜春波.基于 GIS 的重大动物疫情应急指挥平台建设研究[J].测绘与空间地理信息,2013,36(2):46-49.

- [31] 陆昌华,刘光玉,宋佩琴,等.全国农业血吸虫病防治数据库与地理图形系统的设计与实现[J].农业工程学报,1995,15(4):14-18.
- [32] 陆昌华,王长江,胡肄农,等.中国畜禽重大疫病防治数字化监控体系[J].江苏农业学报,2005,21(3):225-229.
- [33] 魏学义,李 宁.辽宁省畜禽分布定位及重大动物疫病防控调度指挥系统建设推进现代畜牧业发展[J].现代畜牧兽医,2007(10):5-6.
- [34] 白维生,张瑞侠,史明昌,等.基于GIS的北京市动物疫病应急指挥平台设计与应用[J].农业工程学报,2011,27(5):195-201.
- [35] 滕翔雁,黄保续,郑雪光,等.地理信息系统GIS在动物卫生领域的应用[J].中国兽医杂志,2005,41(6):58-60.
- [36] 李万辉,刘延宏.GIS技术在动物疫病防控中的应用[J].地理信息世界,2007,5(4):69-72.
- [37] 林富明.GIS在城市突发公共事件应急指挥系统的应用研究[J].测绘与空间地理信息,2009,32(3):31-33,38.
- [38] 谢仲伦.动物卫生经济学[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [39] THESIS,TINA B J.Aspects of animal health economics in the finisher pig production with emphasis on leg disorders[D]. Copenhagen: University of Copenhagen Faculty of Life Sciences Department of Large Animal Sciences,2008.
- [40] 刘 星,贾松涛,刘 炜,等.郑州市重大动物疫病综合管理软件的应用[J].中国动物检疫,2013,30(9):41-44.
- [41] 叶承荣,金耀忠,瞿瑜萍,等.浦东新区动物疫病防控信息化管理初探[J].上海畜牧兽医通讯,2015(1):71-73.
- [42] DE VOS C J, SAATKAMP H W, HUIRNE R B M. Cost-effectiveness of measures to prevent classical swine fever introduction into the Netherlands[J]. Preventive Veterinary Medicine, 2005,70(3/4):235-256.
- [43] KAR I M R, BRIAN D P. The economic and poverty impacts of animal diseases in developing countries: new roles, new demands for economics and epidemiology[J]. Preventive Veterinary Medicine, 2011,101:133-147.
- [44] DIJKHUIZEN A A, JALVING A W, BERENTSEN P B M, et al. Modelling the economics of risky decision making in highly contagious disease control[C]//DIJKHUIZEN A A, MORRIS R S. Animal health economics-principles and applications[M]. New Zealand: Post Graduate Foundation in Veterinary Science, 1977: 159-170.
- [45] CAPORALE V, GIOVANNINI A, FRANCESCO C D, et al. Importance of the traceability of animals and animal products in epidemiology[J]. Rev Sci Tech Off Int Epiz,2001,20(2):372-378.
- [46] 黄圣文.4S养猪物联网[J].农村养殖技术,2013(3):15-17.
- [47] JAMES A.The state of veterinary epidemiology and economics[J]. Preventive Veterinary Medicine,2005,67:91-99.
- [48] GUIMARES V P, TEDESCHI L O , RODRIGUES M T. Development of a mathematical model to study the impacts of production and management policies on the herd dynamics and profitability of dairy goats[J]. Agricultural Systems, 2009,101(3):186-196.
- [49] 王文生,陈 明.大数据与农业应用[M].北京:科学出版社,2015.

(责任编辑:姜华珏)