

陈 冲,刘星桥,黄邵春,等.国内外家猪精细养殖研究进展[J].江苏农业科学,2019,47(6):1-4.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.001

国内外家猪精细养殖研究进展

陈 冲^{1,2},刘星桥^{1,3},黄邵春¹,蔡 研¹

(1. 江苏大学,江苏镇江 212013; 2. 盐城工学院,江苏盐城 224051; 3. 南京农业大学国家工程技术研究中心,江苏南京 210095)

摘要:传统的家猪饲喂易造成饲料资源浪费、环境污染,甚至带来猪肉产品质量安全问题,家猪精细养殖显得越来越重要,而国内外家猪健康高效、生态环保、精细养殖的研究相对滞后。笔者综述国内外家猪精细养殖研究状况、环境调控、精细饲喂和猪病诊断等 3 个方面的研究现状与进展,根据精细养殖对家猪的福利状况、生产性能和经济效益的影响,提出家猪精细养殖将向信息化、网络化、自动化、智能化、无人化方向发展,从而提高家猪养殖福利、改善猪肉品质,提高养殖效益。

关键词:家猪;精细饲喂;环境调控;猪病诊断;数字化平台

中图分类号:S828.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)06-0001-04

人们对猪肉产品需求的不断增加,使得养猪业迅速发展,但是精细养殖程度不高导致饲料浪费、养殖环境恶劣、猪只福利得不到保障,造成猪肉品质下降,此时一旦发生疫情,猪死亡率^[1]。猪舍环境是影响家猪养殖的关键因素之一,直接影响生猪的健康生长,进而影响猪肉的品质和安全性。饲料投喂方面,精细饲喂不但可以供给预定的日粮养分,保证猪的健康生长发育,而且可以减少饲料的浪费。猪病的流行给养猪业带来的损失是不可估量的,因此猪病预防和诊治是养猪业关注的重点。通过视频图像技术,结合远程诊断和专家系统,可防止疫病延误诊断,造成疾病扩大。根据《规模猪场环境参数及环境管理》标准,调控猪舍的生长环境条件,实现猪只的健康生长与繁殖。结合精准饲喂保证给定目标的日粮养分以及猪病的早期预警与诊断,最终获得优质的猪肉产品,提高猪的生产性能,实现健康高效养殖,并减少环境污染。本文综述家猪精细养殖智能环境调控、精细饲喂、猪病诊断和体质量估计的研究进展,旨在提出家猪健康精细养殖的发展方向。

1 研究现状

1.1 猪舍环境评价与调控

1.1.1 猪舍环境质量监测、评价与预警 猪舍环境是影响猪健康水平、生长发育和育种繁殖的重要因素,对猪的生长起着决定性作用。为了对猪舍环境参数进行自动化监测,梁万杰等利用 3G 通信设备、无线传感器节点和环境参数测量传感器构建猪舍环境监测无线传感器网络,采用 J2EE 软件开发猪舍环境监测管理系统,改善了猪舍环境,提高了生猪健康养

殖水平^[2]。为了确保仔猪的正常生长,朱伟兴等采用 Zigbee 无线技术组网,以嵌入式服务器为现场控制中心,服务器通过无线网络(Wi-Fi)与因特网(internet)无缝连接,采用浏览器/服务器模式,实现了物联网技术下的保育猪舍环境精准调控、远程实时监控^[3]。Banhazi 采用 1 种用户友好型空气质量监控与数据管理系统,研制了 2 套改进的测量装置,分别监测温度、湿度、NH₃、CO₂ 和可吸入的颗粒物,降低了养殖工人职业健康风险,潜在性地提高了动物的健康和生产性能^[4]。针对影响猪舍健康状态的因素多、因素具有模糊性等特点,马从国等采用模糊层次分析法建立多级综合评价指标体系评价猪舍的健康状态,评价方法可行,评价结果客观,可优化猪舍的维护与管理^[5]。谢秋菊等基于多环境因子对猪舍环境适宜性进行模糊综合评价,比单一环境因素评价更能全面、合理、准确地反映猪舍环境质量,为猪舍环境调控提供依据^[6]。上述研究提出了猪舍环境的评价方法、监测监控平台与调控措施,为猪只提供了较好的生长环境。

猪粪是猪舍内部氨气散发的主要来源,有效控制和减少氨气的排放量,不但能提高猪对饲料的利用率和转化率,提高猪的生产性能,还有利于减少氨气对环境造成的污染。猪舍内部氨气浓度对猪的生长发育、健康水平和生产性能有很大的影响,Xie 等基于自适应神经模糊推理系统建立育肥猪舍氨气排放与氨气浓度预测模型,采用 5 种类型的隶属度函数建立 ANFIS 预测模型,结果表明,采用“Gbell”隶属度函数的预测模型性能最优^[7]。Zhu 等采用遗传算法和 L-M 算法优化反向传播(back propagation,简称 BP)神经网络预测猪舍氨气浓度,最大误差为 0.56^[8]。针对规模化封闭式养猪场空气温度、氨气浓度预测要求,周苗构建了氨气浓度监测平台,采用灰色隐马尔科夫模型对舍内氨气浓度进行预测和预警,当预测到氨气浓度过高时,自动开启风机并通知相关人员,有效降低了生猪养殖风险^[9]。上述研究方法大多采用单一环境因子对氨气浓度进行预测,有必要利用多环境因子,结合更新颖的预测方法,建立氨气浓度预测预警模型,从而降低养殖风险。

1.1.2 猪舍环境智能调控与解耦策略 猪舍环境质量的好

收稿日期:2018-03-31

基金项目:国家自然科学基金(编号:31172243);江苏省农业自主
主创新资金[编号:CX(16)1006];江苏大学优势学科工程建
设项目(编号:PAPD,NO.6-2014);江苏省研究生科研与实践创新
计划(编号:KYCX18_2262)。

作者简介:陈 冲(1982—),男,江苏盐城人,博士,副教授,主要从事
农业信息化研究。E-mail:cc082120@126.com。

通信作者:刘星桥,博士,教授,主要从事农业设施智能控制系统研
究。E-mail:xqliu@ujs.edu.cn。

坏影响到猪的健康状况和生产性能,因此猪舍环境的调节与控制显得尤为重要。针对猪舍环境系统难以建立精确数学模型的特点,俞守华等采用模糊控制对猪舍温度进行智能控制,系统反映时间短、超调量较小,稳态精度较低^[10]。宣传忠等采用 T-S 型自适应模糊神经控制器对猪舍环境温度进行建模,实现猪舍环境温度的精确控制^[11]。猪舍环境系统又是一个多变量、非线性、时变耦合系统,朱军等研究发现,通风量与温度、湿度及氨气浓度的相关性,即通风量增大,温度、湿度及氨气浓度降低;通风量减小,温度、湿度及氨气浓度升高,采用模糊神经控制对猪舍内影响环境的主要因素进行解耦^[12]。综合考虑猪舍内部温度、湿度、氨气浓度及其相互影响,李立峰等利用模糊控制和解耦控制,通过机械通风系统和热水采暖系统实现猪舍环境控制,并且在水暖系统中叠加补偿系数,对舍内温度、湿度及氨气浓度进行解耦,改善了哺乳母猪舍的环境质量,提高了养殖效益^[13]。为了使猪舍内每个栏位处的温度、湿度达到养殖要求,李欣等采用计算流体动力学(CFD)模拟猪舍温度场信息,设计了温湿度模糊解耦控制系统,使温度相对误差在 6% 以内,湿度相对误差在 11% 以内,改善了猪舍小气候环境的智能控制^[14]。以上这些控制算法各有优缺点:模糊控制不需要被控对象的精确数学模型,通过总结专家经验制定模糊控制规则,反映时间短、超调量较小,但稳态误差较低;神经网络控制具有自主学习能力、泛化能力和容错能力,但是缺乏专家经验。通过综合运用多种智能控制算法实现猪舍环境的精确控制,为生猪生长提供良好的环境。此外,针对猪舍环境的多变量时变耦合性,利用解耦补偿策略、模糊神经解耦、解耦神经网络等智能解耦算法转化为单变量控制算法,使得猪舍环境控制变得不再复杂。

1.2 精细饲喂

1.2.1 精细饲养设备发展现状 家猪的智能精细饲养设备主要针对种猪、妊娠和哺乳母猪,用于猪的育种和繁殖。

种猪自动饲喂及测定系统主要有美国 Osborne 的 FIRE 全自动种猪生产性能测定系统,将每头猪每天的采食量自动累加成每天的采食量记录,取当日测定体质量中间值作为当天的体质量,以此计算日增质量和料肉比。上海河顺智能型种猪测定站用于群养种猪,自动记录每次采食时刻、持续时间、饲料消耗量和猪个体体质量,形成测定报告。广东广兴牧业 9ZC-170 智能型种猪测定系统,连续记录群养模式下猪个体的采食量,系统由多个测定站组成,各测定站通过电缆与电脑相连。

母猪精细饲喂设备主要有荷兰 Nedap 公司的 Velos 系统,采用智能化福利养猪取代定位栏养猪,实现群养母猪中的单体母猪精确饲喂^[15];法国 ACEMO MF24 母猪多功能自动饲喂系统具有供料、供水、母猪发情识别、母猪自动筛选与分隔等功能^[16]。美国 Osborne 全自动母猪饲喂站(TEAM)通过收集、传送与母猪相关的数据控制饲喂站管理群养母猪个体采食^[17]。加拿大的 Gestal 哺乳母猪管理系统自动分析母猪采食行为,智能化调整采食量最大化,满足了母猪动态营养需求^[18]。我国河南省南商农牧公司的妊娠母猪饲喂站通过读卡器阅读电子耳标,感知母猪个体信息,上位机显示其历史档案,决定投喂频率与数量,实施具有阈值设定的自动投喂,实现基于“感知-数据分析-投喂控制”的闭环控制,达到无人

控制的精细饲喂。河南省郑州市九川最新一代母猪饲喂站,通道部分由机械门控制,电控部分模块化设计,采用小单元饲喂模式,弱电集中供电,性价比高。江苏省扬州市牧新母猪自动饲喂站根据耳标号、体质量及怀孕日期计算母猪当天进食量,饲喂站根据该进食量分量、分时间为母猪下料。

种猪选取时需要针对不同测定的猪任何生长阶段的日增重量和饲料报酬数据进行对比。种猪测定系统的使用,可为种猪场的遗传育种提供全面、准确的数据分析报告,从而选择理想的种猪。妊娠母猪与哺乳母猪的饲喂控制需求不同,因此采用不同的智能饲喂设备,满足了母猪不同个体的生理变化和营养需求的动态变化,延长了母猪生产寿命,提高了母猪的生产水平和繁殖性能。但是国外的精细饲喂设备常用于大群饲养模式,应用于繁殖猪场价格昂贵,中小猪场无力负担,而一些国产精细饲养设备采用小单元饲喂模式,实用性更强、性价比更高。

1.2.3 精细饲喂数字化平台构建 家猪的精细饲喂是确保养殖经济效益的关键措施之一。家猪精细养殖智能控制器主要采用单片机、可编程逻辑控制器和嵌入式控制器。朱军利用 Kingview 集成研发上位机种猪数字化养殖平台,根据母猪产仔天数及数量,利用 S7 200 PLC 作为下位机控制步进电机驱动卸料器,实现饲料量的精确投放,实际落料量最大误差为 2%^[19]。刁一峰等基于嵌入式 ARM 平台开发精细投喂控制系统,实现了精确投喂剩余料量最小化控制、减少了人力消耗、节约了饲料成本^[20]。熊北海等构建了种猪精细饲养综合技术平台,完成猪只个体信息标志、生产档案数据采集和数据库的创建,实现了工厂化养猪场生产管理全面数字化,在国内 50 多家集约化的种猪场得到示范应用^[21]。这些研究为数字化种猪精细饲喂数平台构建起了重要的作用,但是还需要进一步研究精准饲喂物联网系统,实现智能化、网络化和远程化的精确饲喂。

1.2.4 精细养殖投喂策略 母猪精细自动饲喂可以按预定目标满足日粮需要量供给,维持母猪健康体况,提高母猪繁殖性能和产仔猪的健康,既节省了人力,又减少了饲料浪费。为解决妊娠母猪按个体定量饲喂及剩料难以控制等问题,杨亮等针对母猪个体按照 2 次/d 的饲喂频率进行下料,定量饲喂的质量为 2 kg/d,若 2 次采食不完,触发第 3 次下料事件,并且针对不同妊娠期的母猪实行差异化的精确饲喂^[22]。为解决哺乳母猪少吃多餐且随哺乳日龄变化采食量动态增加的饲喂控制需求,熊北海等通过人工饲喂和智能饲喂 2 种方式得出哺乳母猪采食量模型,利用该模型预测不同泌乳日期的采食量,按照 4 次/d 的饲喂频率和变化的投料比例进行定时和定量投喂,可显著提高哺乳仔猪采食量及平均体质量日增加量^[23]。哺乳母猪在哺乳期对饲料需求量不同,朱军等根据哺乳母猪的产仔天数及数量与饲料投喂量的关系,采用模糊控制建立自动饲喂器模型,实现数字化精细饲喂,节约了劳动成本、节省了饲料成本,提高了种母猪养殖效益^[24]。谭溪清等采用美国 FIRE 全自动种猪生产性能测定系统对采食行为进行精确测定,在自由采食条件下,建立体质量与日采食量之间的回归方程,使猪群达到合理的采食量,猪场获得较高的经济效益^[25]。以上大多为干饲料精细饲喂,而液体饲料自动饲喂系统报道并不多见。

利用动物生产管理专家系统进行日粮饲喂预测、饲喂量决策推理,可以避免饲料浪费,提高饲喂效率。为解决母猪在围产期及哺乳期对日粮的需求问题,刘伯强构建了母猪饲喂专家系统知识库,将母猪饲喂推理与数据库有机融合,实现了专家级的母猪日粮饲喂预测^[26]。于啸利用产生式知识表示法建立奶牛饲喂量知识库,采用正向推理广度优先策略完成推理机设计,推理机结合规则和策略完成专家系统饲喂量决策推理功能,并在线给出精饲料饲喂量,通过通用分组无线服务(GPRS)发送给下料称质量控制器,以此为系统预设值进行定量下料^[27]。考虑猪舍环境对采食量的影响,张亮等制定确定规则,设计智能化专家饲喂系统,实现母猪生长过程采食量的精确控制^[28]。熊北海等将物联网技术应用到哺乳母猪自动饲喂系统中,饲养员既可以通过桌面软件系统又可以通过安卓(Android)客户端完成精确饲喂控制^[1]。上述研究表明,利用物联网技术结合专家决策推理系统进行精细饲喂将是牲畜自动化、智能化养殖的重要发展方向。

1.3 猪病诊断

近年来,我国生猪养殖业持续快速稳定发展,但是生猪规模化养殖过程中,一旦发生猪流感、猪瘟、蓝耳病等疫情,会给生猪养殖业的健康发展带来巨大危害。因此,需要对养猪进行疫情监测、提前预警,早发现,早治疗。猪正常的采食、饮水、排泄行为是判断其健康与否的重要依据,通过对猪行为分析,进行猪病监测。猪一旦发热或体温异常、食欲下降会严重影响其采食量,钟芳葵研究了基于 ARM 平台的生猪采食行为嵌入式控制设备,采集和存储生猪的采食行为数据,根据采集数据统计猪 1 d 的总采食量,当总采食量小于设定阈值时,被确定为疑似病猪^[29]。Madsen 等通过监测育肥猪每小时的饮水量,基于状态空间模型对生长猪的饮水模式进行建模,用于监测猪只的饮水是否正常,从而预测猪只疾病暴发等异常情况^[30]。朱伟兴等研究了基于 ARM 平台的嵌入式控制设备,安装在猪舍排泄区域对群养猪的排泄行为进行 24 h 监控,提出通过改进的运动目标检测算法和基于像素块对称特征的图像识别算法定位具有异常行为的疑似病猪,病猪检测正确率为 78%^[31]。猪耳根部体温代表猪的正常体温,通过对生猪耳根部特征区域进行检测,得到耳根部特征区域图像,实现猪非接触式体温检测。刘波研究了基于改进主动形状模型的猪耳根部区域检测方法,通过红外热图像温度数据提取对应耳根部体表温度^[32]。针对生猪蓝耳病疫情的耳部发病特征,周丽萍等首先利用图像配准寻找猪热红外图像和可见光图像的最优尺度因子,然后采用主动形状模型提取猪耳部轮廓,将提取的耳部轮廓进行颜色对比,判断生猪是否患有蓝耳病疫情^[33]。上述研究成果基于猪行为分析、非接触式耳根部体温检测和颜色检测,为猪病的早期监测提供了预警机制,减少了养殖户因猪病暴发带来的损失。

为了帮助养殖户寻找专家解决猪病问题,李盼玉利用模糊数学将猪病症状处理形成猪病诊断卡,采用双向推理过程完成猪病的智能诊断,利用智能手机实现专家与养殖户的远程交流,在线诊断^[34]。为解决猪病诊断专家系统存在的诊断模糊性问题,Fu 等把 D/S 证据理论和集对分析理论应用于诊断推理中,“诊断”阶段采用 D/S 证据理论有助于并发疾病的诊断,“验证”阶段采用集对分析优化集合对比分析的角度,

提高了猪病诊断的精准度^[35]。由于推理技术的局限性和诊断领域知识的的不成熟,导致专家系统诊断效率低、错误率上升,Xu 等采用一种集证据理论和集对分析的混合推理机制,解决了猪并发疾病,提高了系统的诊断效率^[36]。上述研究探索了采用远程诊断、专家系统帮助养殖户解决养猪生产中的猪病问题,诊断正确率仍需要进一步提升。

2 家猪精细养殖的发展方向

随着养猪业的快速发展,规模化、标准化、集约化、自动化管理的家猪精细养殖体系日趋形成,家猪精细养殖是关系到消费者能否获得优质猪肉产品的关键环节。未来家猪精细养殖必将以最适宜的生长环境为中心、以基于猪个体的精准饲喂和建立猪病提前预警与诊断机制为基本点,以高效、高产、健康养殖为目标,实现猪群发病率低、育肥猪增质量快、母猪繁殖性能强、饲料投喂量省、经济效益高,从而促进畜牧业全面健康发展。通过对家猪精细养殖的研究现状进行分析,提出今后家猪精细养猪的发展方向。

2.1 关注家猪饲养过程中的健康状况、福利需求和生产性能

家猪生长环境恶劣、猪病预警机制缺乏、饲养空间不足,直接导致猪只饲养过程中福利差,进而影响猪肉品质 and 安全性,甚至导致猪的发病率和死亡率增加。精细养殖需要考虑猪自身的健康状况、福利需求,从而提高养殖的猪肉产品质量,让老百姓吃上“放心肉”。因此,改善猪舍内部空气质量,控制舍内有害气体浓度,创造有利于家猪健康生长的环境;实时监测猪发病情况,建立预警机制,防止疫情蔓延;提供足够的饲养空间,采食区、饮水区、排泄区和躺卧区合理布置,并保证躺卧的舒适性,辅以智能饲养设备,精确饲喂,控制猪的体况。通过这些措施确保家猪健康与福利,减少疫情发生,提高饲料转化率,降低对环境的污染。

2.2 家猪精细养殖朝着信息化、网络化、自动化、智能化和无人化方向发展

猪的饲养模式正逐步从小规模向规模化、标准化模式转变,现代养猪业离不开信息技术的支撑,离不开智能设备与大数据。家猪精细养殖以计算机和智能控制技术为核心,综合运用信息技术、无线传感器网络技术、物联网技术、数据库技术、智能监控技术和机器人技术构建物联网体系,把所有传感设备与互联网连接起来,使得猪只获得良好的生长环境;猪只个体自动被识别,系统调用数据库信息按个体精准下料;一旦出现疑似病猪,通过远程专家诊断,并提供诊断结果,最终实现智能化养猪的识别与管理,减少饲料浪费,降低饲养员的劳动强度,家猪生长期健康状况良好,确保了猪肉产品质量和安全,达到优质、低耗、生态、环保的生产目标。

2.3 家猪精细养殖质量控制与数字化生产管理有机结合,增加养殖效益

优质猪肉产品的获得需要通过环境调控^[37]、精准投喂、猪病预防与诊断和猪肉产品的溯源等质量控制措施与养殖户的生产管理有机结合起来实现。现代养猪业借助物联网技术构建家猪精细养殖数字化生产管理系统,为养殖户建立集信息采集、传输、优化与控制的技术平台,为养殖户提供高效率的经营方法。养殖户客户端采用 B/S 技术和 C/S 技术通过浏览器进入管理系统,通过远程监控中心、Android 手机客户端

养猪,确保了家猪健康养殖和较高的生产性能,提高了养殖户的工作效率,使得养猪业朝着优质、高效和安全的目标发展。

3 结语

由于养猪业的快速发展,养猪生产从散养模式向规模化、标准化、集约化模式转变,在这一转变过程中,养猪业整体生产水平的提升需要计算机、控制、畜牧、养殖等各领域专家协同攻关,构建集约化家猪精细养殖物联网体系、数字化生产管理系统平台,对精细养殖的研究具有重要意义,为未来实现家猪精细养殖信息化、网络化、自动化、智能化和无人化奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1]熊本海,罗清尧,杨 亮. 家畜精细饲养物联网关键技术的研究[J]. 中国农业科技导报,2011,13(5):19-25.
- [2]梁万杰,曹 静,凡 燕,等. 基于无线传感器网络的猪舍环境监测系统[J]. 江苏农业学报,2013,29(6):1415-1420.
- [3]朱伟兴,戴陈云,黄 鹏. 基于物联网的保育猪舍环境监控系统[J]. 农业工程学报,2012,28(11):177-182.
- [4]Banhazi T M. User - friendly air quality monitoring system[J]. Applied Engineering in Agriculture,2009,25(2):281-290.
- [5]马从国,赵德安,王建国. 基于模糊层次分析法的猪舍健康状态量化评价方法与应用[J]. 家畜生态学报,2013,34(10):68-73,93.
- [6]谢秋菊,苏中滨, Ni J Q,等. 猪舍环境适宜性模糊综合评价[J]. 农业工程学报,2016,32(16):198-205.
- [7]Xie Q J, Ni J Q, Su Z B. A prediction model of ammonia emission from a fattening pig room based on the indoor concentration using adaptive neuro fuzzy inference system[J]. Journal of Hazardous Materials,2017,325:301-309.
- [8]Zhu K H, Wu S Y, Li Q. Prediction model for piggery ammonia concentration based on genetic algorithm and optimized BP neural network[J]. Metallurgical and Mining Industry,2015(11):6-12.
- [9]周 茁. 生猪养殖环境监测及氨气浓度预警模型研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2014:32-42.
- [10]俞守华,区晶莹,张洁芳. 猪舍有害气体测定与温度智能控制算法[J]. 农业工程学报,2010,26(7):290-294.
- [11]宣传忠,武 佩,马彦华,等. 基于自适应模糊神经网络的畜禽舍环境控制系统的研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),2013(4):397-403.
- [12]朱 军,麻硕士,毕玉革,等. 种猪数字化养殖平台的构建[J]. 农业工程学报,2010,26(4):215-219.
- [13]李立峰,武 佩,麻硕士,等. 基于组态软件和模糊控制的分娩母猪猪舍环境监控系统[J]. 农业工程学报,2011,27(6):231-236.
- [14]李 欣,窦 轩,王志鹏,等. 基于 CFD 的猪舍小气候环境模糊控制系统[J]. 家畜生态学报,2017,38(5):54-59.
- [15]熊本海,罗清尧,杨 亮. 家畜精细饲养物联网关键技术的研究[J]. 中国农业科技导报,2011,13(5):19-25.
- [16]Anon. Total electronic animal magement[EB/OL]. [2017-12-21]. http://www.osborne_livestockequipment.com/productteam/index.php.
- [17]胡圣杰,王树才. RFID 技术在养猪业中的应用[J]. 湖北农机化,2007(5):24-25.
- [18]Technologies J. Computerized feeding system for farrowing sows[EB/OL]. [2018-03-20]. <http://jygatech.com/?lang=en>.
- [19]朱 军. 种猪数字化养殖平台的系统集成与应用研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010:10-29.
- [20]刁一峰,陈 为,杨丰泽,等. 基于 ARM 的嵌入式家畜自动喂食控制系统应用研究[J]. 内燃机与配件,2017(2):130-131.
- [21]熊本海,王学勤,卢德勋. 猪精细养殖综合技术平台[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2006:51-70.
- [22]杨 亮,熊本海,曹 沛,等. 妊娠母猪自动饲喂机电控制系统设计与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(21):66-71.
- [23]熊本海,杨 亮,曹 沛,等. 哺乳母猪自动饲喂机电控制系统的优化设计及试验[J]. 农业工程学报,2014,30(20):28-33.
- [24]朱 军,麻硕士,慕厚春,等. 种猪自动精细饲喂系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(12):174-177.
- [25]谭溪清,罗凤珍,朱 良. 大约克生长猪采食行为研究[J]. 畜牧与兽医,2011,43(3):45-47.
- [26]刘伯强. 哺乳期母猪饲喂专家系统的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [27]于 啸. 奶牛精量饲喂控制系统的研究[D]. 长春:吉林大学,2016:111-113.
- [28]张 亮,谢富强,赵宇红,等. 基于专家系统的智能化饲喂系统的设计[J]. 安徽农业科学,2014,42(32):11593-11596,11603.
- [29]钟芳葵. 基于 RFID 和 ARM 嵌入式技术的猪行为自动监测系统设计[D]. 镇江:江苏大学,2010:58-60.
- [30]Madsen T N, Andersen S, Kristensen A R. Modelling the drinking patterns of young pigs using a state space model[J]. Computers Electronic in Agriculture,2005,48(1):39-61.
- [31]朱伟兴,浦雪峰,李新城,等. 基于行为监测的疑似病猪自动化识别系统[J]. 农业工程学报,2010,26(1):188-192.
- [32]刘 波. 基于多源图像的生猪体表温度和步态特征提取方法的研究[D]. 镇江:江苏大学,2014:43-85.
- [33]周丽萍,陈 达,陈 志,等. 基于图像处理生猪耳部颜色异常检测技术[J]. 农业机械学报,2017,47(4):166-172.
- [34]李盼玉. 基于智能手机的猪病远程诊断系统的设计与实现[D]. 合肥:安徽农业大学,2015:10-34.
- [35]Fu Z T, Xu F, Zhou Y, et al. Pig - vet: a web - based expert system for pig disease diagnosis[J]. Expert Systems With Applications, 2005,29(1):93-103.
- [36]Xu F, Zheng X P, Zhang J. A hybrid reasoning mechanism integrated evidence theory and set pair analysis in Swine - vet[J]. Expert Systems With Applications,2010,37(10):7086-7093.
- [37]周忠凯,李 辉,秦 竹,等. 自然通风猪舍高压喷雾降温系统的降温效率[J]. 江苏农业学报,2018,34(1):106-113.