

农业现代化研究

NONGYE XIANDAIHUA YANJIU

(双月刊)

第 42 卷第 1 期 (总第 242 期)

2021 年 01 月

目 次

智能养殖:生猪行为研究及其应用	冯泽猛,张云华,贺玉敏,王荃,周脚根,叶仑,李铁军,印遇龙(1)
长江经济带稻作农业文化遗产的现状与价值	黄国勤(10)
城乡融合视域下农村绿色发展的科学内涵与基本路径	杨文杰,巩前文(18)
以色列集体村社制度基布兹的“私有化”改革及其启示	刘铁柱,苑鹏(30)
全产业链导向下农业特色小镇现代化发展研究——以北方国际种苗小镇为例	李道勇,刘孟格,张勃,田驰,张惠惠(39)
乡村振兴规划中视觉识别系统的研究与应用	张海瑜,张鹏,马云飞,张德林(49)
行动者网络视域下乡村旅游扶贫模式与机制研究——以赤峰市雷营子村为例	王公为,赵忠伟(57)
偏向性技术变迁与中国粮食增长路径转型——基于 1978—2018 年玉米主产省的实证	张琪,朱满德,刘超(67)
农户兼业、生产环节外包与农业种植结构“趋粮化”	周利平,管祺祺,翁贞林(78)
地方政策性农业保险对农产品市场的影响研究——以武汉市蔬菜市场为例	宋长鸣,肖小勇,李崇光(85)
农业规模经济的市场力量效应研究——基于黑龙江、吉林和山东的分析	史修艺,王颜齐(94)
中国肉牛全要素生产率时空分异特征分析——基于非参数共同前沿分析方法	李俊茹,王明利,杨春,石自忠(103)
城市消费者对碳标签牛奶的偏好及其异质性来源——基于选择实验法的分析	张红,韩子旭,熊航(112)
家庭农场测土配方施肥技术采纳行为及收入效应研究	刘畅,张馨予,张巍(123)
基于改进 PSR 模型的洞庭湖区生态安全评价及主要影响因素分析	芮亚玲,李巧云(132)
子女性别对农民工外地务工决策的影响——基于中国劳动力动态调查数据的经验分析	李梦华,钱文荣(142)
气候变化及农户适应性行为对大豆播种面积的影响	张雪,周密,张丽敏(153)
基于 MODIS-LAI 数据的广西甘蔗物候期提取	谢鑫昌,杨云川,田忆,廖丽萍,韦钧培,周津羽,陈立华(165)
猪粪化肥配施对稻田土壤氮素含量及氮肥利用效率的影响	孙铭鸿,蒋炳伸,沈健林,宋变兰,李巧云,李勇,吴金水(175)
《农业现代化研究》2020 年度审稿专家名单	(184)

引用格式：

冯泽猛, 张云华, 贺玉敏, 王荃, 周脚根, 叶仑, 李铁军, 印遇龙. 智能养殖: 生猪行为研究及其应用 [J]. 农业现代化研究, 2021, 42(1): 1-9.

Feng Z M, Zhang Y H, He Y M, Wang Q, Zhou J G, Ye L, Li T J, Yin Y L. Intelligent breeding: The research and application of pig behavior[J]. Research of Agricultural Modernization, 2021, 42(1): 1-9.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2021.0022



智能养殖：生猪行为研究及其应用

冯泽猛¹, 张云华², 贺玉敏^{1,3}, 王荃⁴, 周脚根⁵, 叶仑², 李铁军¹, 印遇龙^{1,3*}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 动物营养生理与代谢过程湖南省重点实验室, 中国科学院亚热带农业生态重点实验室, 畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室, 湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心, 农业部中南动物营养与饲料科学观测实验站, 湖南 长沙 410125; 2. 中国科学院计算机网络信息中心, 北京 100190; 3. 湖南师范大学生命科学学院动物营养与人体健康实验室, 湖南 长沙 410081; 4. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119; 5. 淮阴师范学院城市与环境学院, 江苏 淮安 223399)

摘要: 信息技术与各行业的深度融合是当前全球信息化发展的显著特征, 这些技术在生猪养殖中的引入推动了生猪智能养殖的发展。智能养殖已成为了生猪养殖未来发展的重要方向, 其基础是生猪养殖产业链中信息数据的规模化动态收集。生猪养殖过程是联系产业链各个链条的中枢环节, 对其智能控制是生猪养殖转型升级过程中的关键。作为生猪养殖过程中最具丰富信息的载体, 生猪行为的动态监测数据, 可作为生猪运动功能、健康状态和精神状态的重要评估依据。本文全面梳理了生猪行为的细化分类; 分析了遗传、营养状态和日粮组成、养殖环境、养殖管理、健康状况等因素对生猪行为的影响; 探讨了基于射频识别 (RFID) 和加速度等传感器、机器视觉、声音等生猪行为监测方式; 提出了生猪行为监测技术规模化应用所面临的挑战。研究表明, 生猪行为的监测将为生猪智能养殖提供又一有力数据抓手, 可借此实时监控养殖过程中的生猪健康和福利状态, 助推生猪养殖过程控制的智能化发展。

关键词: 生猪行为; 智能养殖; 射频识别 (RFID); 机器视觉; 精细化养殖; 大数据

中图分类号: S8-01; S811.8; S828 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0275 (2021) 01-0001-09

Intelligent breeding: The research and application of pig behavior

FENG Ze-meng¹, ZHANG Yun-hua², HE Yu-min^{1,3}, WANG Quan⁴, ZHOU Jiao-gen⁵,
YE Lun², LI Tie-jun¹, YIN Yu-long^{1,3}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Animal Nutritional Physiology and Metabolic Process, Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Research Center of Healthy Animal Husbandry, Human Engineering and Research Center of Animal and Poultry Science, Scientific Observational and Experimental Station of Animal Nutrition and Feed Science in South-Central, Ministry of Agriculture, Changsha, Hunan 410125, China; 2. Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3. Animal Nutrition and Human Health Laboratory, College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410081, China; 4. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710119, China; 5. College of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huaiyin, Jiangsu 223399, China)

Abstract : The future development of pig breeding is to carry out intelligent breeding models, which is based on the dynamic collection of the scale information of the pig breeding industry chain. The intelligent control of pig breeding process, which is the central link of pig industrial chain, is the short board that urgently needs to be strengthened in the transformation and upgrading of pig breeding in China. Pig behaviors are the most informative carrier in the breeding

基金项目: 湖南省重点研发计划项目 (2019NK2181); 中国科学院 STS 项目: 畜禽养殖智能服务平台; 中国工程院咨询研究项目 (重大) (2019-ZD-5)。

作者简介: 冯泽猛 (1985—), 男, 山东莘县人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为氨基酸精准营养与畜禽智能养殖, E-mail: fengzemeng@isa.ac.cn; 通信作者: 印遇龙 (1956—), 男, 湖南桃源人, 博士, 研究员, 中国工程院院士, 主要研究方向为单胃动物营养, E-mail: yinyulong@isa.ac.cn;

收稿日期: 2020-12-30, **接受日期:** 2021-01-25

Foundation item: Research and Development Projects in Key Areas of Hunan Province (2019NK2181); Science and Technology Service Network Initiative of the Chinese Academy of Sciences: Intelligent Service Platform for Livestock and Poultry Breeding; Major Consulting and Research Project of the Chinese Academy of Engineering (2019-ZD-5).

Corresponding author: YIN Yu-long, E-mail: yinyulong@isa.ac.cn.

Received 30 December, 2020; **Accepted** 25 January, 2021

process, and it is an important evaluation basis for the sports function, health state and mental state of pigs. In this paper, the detailed classification of pig behaviors are comprehensively sorts out. The effects on pig behaviors from heredity, pig's nutritional status, dietary composition, breeding environment, breeding management and pig's health status were analyzed. The pig behaviors monitoring methods based on sensors, machine vision and sound are summarized. The challenge of pig behaviors monitoring technology development is also pointed out. The monitoring of pig behavior provides another powerful data grasp for intelligent pig breeding, which can be used to real-time monitor the health and welfare status of pigs in the breeding process and will promote the development of pig breeding process intelligent control.

Key words : pig behaviors; intelligent breeding; Radio Frequency Identification (RFID); machine vision; precision livestock farming; big data

近年来,以移动互联网、物联网、云计算、大数据和人工智能等为代表的新一代信息技术在全球范围内获得了蓬勃发展和广泛应用。信息技术与各行业领域的深度融合已是当前全球信息化发展的显著特征。生猪智能养殖是生猪养殖未来发展的重要方向^[1]。我国是生猪养殖和猪肉消费大国,但不是生猪养殖强国。在生猪品种选择和饲料营养标准执行都与国外相差无几的情况下,我国猪场每头母猪每年所能提供的断奶仔猪头数(Pigs weaned per Sow per Year, PSY)和出栏肥猪头数(Market pigs per Sow per Year, MSY)普遍低于生猪养殖强国,凸显生猪养殖过程控制是生猪养殖的行业短板。生猪养殖过程是联系产业链各个链条的中枢环节,对此环节的规模信息数据进行动态收集,实现养殖过程智能控制,是我国生猪养殖转型升级的关键。

生猪行为是生猪养殖过程中最具丰富信息的载体。精准掌握生猪群体行为,可使养殖企业或养殖户能够监控养殖过程中动物的健康和福利状态^[2]。国内外早已开始关注动物行为学研究,尤其是行为与生长状态的关联分析,但对生猪行为的研究相对滞后,多数研究局限于实验室内,缺少规模化、集约化饲养条件下生猪群体行为的研究平台^[3-4]。具体来讲,目前生猪行为研究主要聚焦在母猪生产精准管理^[5]与生猪疫病预警^[6]。本研究通过领域文献调研,全面梳理了生猪行为的细化分类,分析遗传、营养状态和日粮组成、养殖环境、养殖管理、健康状况等因素对生猪行为的影响,探讨比较基于射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)和加速度等传感器、机器视觉、声音等生猪行为监测方式,提出生猪行为监测技术在规模化应用时所面临的挑战,为生猪养殖的智能化发展提供决策参考。

1 生猪行为细化

在猪的生命周期内,无时无刻不伴随着各种行为的产生,可以说生猪行为数据将持续产于生猪的整个养殖环节。生猪行为是最具丰富信息的载体,是实现生猪养殖过程监测的首选指标^[7]。对生猪群

体行为的监测将有助于精准掌握猪的行为习性,创造适于猪生长的饲养环境,指导与细化生猪养殖管理,进而提高生猪养殖产能。生猪的行为由活动形式、发声、身体姿势以及外表上可辨认的变化组成。经不断驯化,生猪常见的行为模式已从野猪的 20 多种减少到家猪拥有的 10 余种,近百种细化行为^[8],详见表 1。

2 生猪行为的影响因素

2.1 遗传

生猪行为首先受到遗传背景的影响,不同品种生猪之间行为有所差异。总体来讲软耳猪比竖耳猪存在更多咬尾现象。就生猪养殖过程中最为关注的摄食行为而言,杜洛克和长白猪单次采食时间长于大白猪,且总体上呈现随日龄和体重增长而增加的趋势,而大白猪则相反;日采食次数表现为“大白 > 杜洛克 > 长白”;日总采食时间则表现为“杜洛克 > 大白 > 长白”^[9]。随着生猪的发育,在不同的发育阶段也存在不同的行为模式。在同一品种,不同性别的猪也存在明显行为模式差异,公猪咬尾频率比母猪更高^[10]。

比较我国地方品种猪(民猪、大花白猪、蓝塘猪)与现主流养殖的外来猪种(大白猪、长白猪)行为发现,地方品种猪母性更好,对周围环境较敏感,姿势转换频率较低,对仔猪保护性更强^[11]。对同猪种而言,未有压死仔猪经历的母猪表现出更多仔猪保护行为^[12];防御性攻击行为高的母猪产仔时间较短,产后恢复较快,可为仔猪提供充足营养需要和安全防护,仔猪成活率更高^[13]。因此,生猪行为也可作为生猪育种的参考指标,并且已经应用于生猪育种^[14-15]。

2.2 营养状态与日粮组成

不同营养状态下的生猪表现出不同的行为模式。饥饿或蛋白、氨基酸、纤维、矿物质和食盐等营养物质缺乏状态下,猪保持较高水平的采食动机,猪群会出现大量口部刻板、咬尾和咬耳等行为^[16]。氨基酸配比失衡也可导致咬尾、咬耳行为的爆发^[17];

表 1 生猪细化行为列表
Table 1 The list of pig's refinement behaviors

类别	行为大类	行为小类	细化行为
正常行为	采食与排泄行为	采食	饮水、采食、吸奶
		排泄	排尿、排便
	活动与怠惰行为	活动	站立、走、跑
		玩耍	跳跃、旋转运动、打滚、嬉戏、挥动物体、甩头、爬跨等
		舒适行为	后蹄抓痒、物体抓痒、摇头、伸懒腰、打哈欠等
	探究行为	怠惰	卧（侧卧和趴卧）、坐、跪、睡等
		主动探究	在圈中站立或走动，并伴嗅、拱、吸吮、轻咬、咀嚼，或者挠东西等行为
		操控探究	对同伴的耳朵和尾巴、稻草、圈中地板或墙进行嗅、拱、舔、咬、咀嚼等的行为
		嗅	嗅身体、嗅肛等
		咬	轻咬、咀嚼、咬
		互噬行为	咬尾、咬耳
		吸吮行为	站立或卧倒，将同伴的身体一部分（如耳朵、阴茎、肚脐等）含在嘴里，下巴缓慢移动但无咀嚼行为。
情绪表达	拱行为	拱地、拱腹等	
	刨行为	用前蹄刮或挠地、稻草、墙、栏等	
	其他探究行为	学习、认知等	
	耳/尾行为	耳朵后背、尾巴卷曲、摇尾、垂尾等	
社会行为	发声	蛙鸣、深呼吸声、高呼噜声、尖叫、吱吱声、犬叫等	
	情绪传染		
	机警行为	机警、逃脱欲、躲人、靠近人、碰触人等	
性行为	社会等级	乳头顺序、等级序列等	
	攻击行为	攻击、侵略性咬、追逐、头部推挤、替代移位、威胁、并肩推挤、撬、战斗、待攻击、转向等行为	
	顺从行为	非攻击行为、嗅、头部倾斜、逃避等	
母性行为	拱、头对头、嗅、跟随、托腮	母猪的性行为包括发情、求偶和交配；公猪的性行为包括性兴奋与求偶、勃起、交配、射精、性失效等	
	临产行为	离群、絮窝、磨牙、收集等	
体温调节行为	产后行为	哺乳（侧卧、站立、犬坐）、移动猪仔、护仔行为、念亲行为等	
异常行为	刻板行为	挤聚、蜷卧	
	应激反应	刻板行为	刻板印象、口部刻板、唤起、跳跃刻板、拱、空口咀嚼、摩擦、咬栏、挥头等
		应激	
		应变	

日粮组成也将影响生猪行为。高能饲料下生长肥育猪规癖行为（包含无食咀嚼、与地面和食槽有关的行为、口部刻板行为和咬尾率）频率变低，趴卧时间最长，呈现良好福利状态。摄入抗性淀粉等升糖较快的营养物质，会减少生猪采食相关行为，增加探究行为^[18]。甜味、肉味和奶酪味的食物，尤其是糖类，也将促进断奶仔猪采食，其中蔗糖效果最好；近半数人工甜味剂也可以促进生猪采食，效果最好的是 N-(4- 氰苯基)-N-(2,3- 亚甲二氧苄基) 胍乙酸 (Lugduname) 与 N-[(3,5- 二氯苯基) 氨基][(二苯基甲基) 氨基] 亚甲基] 甘氨酸 (Carrelame)^[19]。日粮形态也会影响生猪行为，给予粉料的生猪采食时间更长，采食后的不良行为更少^[20]。

2.3 养殖环境

生猪行为受其所处的养殖环境的影响，具体包括光照、温湿度、养殖密度和声环境等。因为养殖

环境是生猪养殖过程相对容易控制的因素，所以养殖环境对生猪行为的研究比较多。

生猪喜光，采食行为呈昼夜节律性变化，且主要集中在 6:00—9:00 和 15:00—19:00。

环境温湿度对生猪摄食行为的影响最为明显。冷应激下，生猪日采食次数和摄入速度明显增加，单次摄食量和摄食时间显著下降，总摄食量减少；在相对舒适的 23~33 ℃ 下，30 kg 的生长猪采食次数随温度升高呈现出先增高后降低的趋势。环境温湿度对生猪行为的影响也最为直观。冷应激状态，生猪扎堆取暖且易出现咬尾现象；当环境温度升高超过 16.6 ℃ 时，蜷缩行为减少；超过 18.8 ℃ 时，更多时间侧躺于漏缝地板，刻板行为发生率较低；当温度高于 20 ℃ 时，咬尾现象普遍出现^[21]；长时间温度超过 35 ℃，生猪会大量出现往返踱步的刻板行为，并尽量避免与其他生猪挤靠。养殖温度每上

升 1℃, 生猪侧躺率增加 1.8%, 猪相互之间接触率下降 3.7%。在适宜温度下生猪不随意排便; 温度超过 25℃时, 生猪躺在漏缝地板的比例及在水泥地板上的排泄几率增加。此外, 湿度会加剧温度对生猪行为的影响^[22]。通过对生猪行为的观察, 以及加热板、风机、湿帘等设备设施的优化控制, 是保障生猪处于舒适生长状态的最为直接的方式。

高密度饲养是造成生猪表现咬耳、咬尾等攻击行为的重要因素。饲养密度超过 110 kg/m² 时, 生长育肥猪会出现举止不安、对外部刺激敏感、食欲减弱、目光凶狠、咬尾概率大幅度增加等现象^[23]。高密度的母猪群体接触和躺卧行为减少, 行为多样性减少, 表现出更多站立、饮水和刻板行为; 产房限位栏内的母猪都有不同程度的行为规癖, 以无食咀嚼和啃槽最多; 圈饲养孕母猪也有高达 46% 的刻板行为发生率; 圈养密度超过 0.56 头/m² 时, 泌乳母猪出现空嚼等刻板行为。适当扩大群体规模有利于避免生猪异常行为的发生, 更重要的是扩大生猪活动空间, 比如使用双层猪舍设计, 更利于生猪保持安静, 出现更多的躺卧行为, 减少敲头行为^[24]。

生猪也会对不同声环境做出行为反应。突然的噪音会使生猪感到厌烦, 会导致生猪心率加快和后退行为^[25]。

2.4 养殖管理

不同管理状态下, 生猪表现的行为存在差异。集约养殖状态下, 水泥地面或漏缝地板被普遍使用, 母猪絮窝行为被限制, 使其产生挫折感, 形成了啃栏、犬坐和长时间站立等刻板行为, 也导致生猪恶意打斗和咬尾咬耳现象增加。在猪舍添置少量干草和其他玩具, 或提供拱土机会明显降低生猪咬尾率和攻击频率, 增加其探究行为^[26]。添置玩耍物的安放位置会影响效果, 靠近料槽置放更能激发仔猪的探索行为, 减少其休息时间^[27]。相比使用饮水器, 使用饮水碗的断奶 2 天后的仔猪花费较少的时间摄入更多的饮水^[28]。

生猪是社会性群居动物, 具有明显的社会等级。养殖过程中混群后, 社会地位需重新建立, 会在多天内发生普遍的争斗行为。高密度饲养会增加混群后猪攻击打斗频率。大群体中参与打斗的猪打斗持续时间更长; 体重相近生猪混群打斗行为更加严重^[29]; 大日龄猪打斗行为较小日龄的持续时间长, 且再次相遇时打斗依然频繁^[30]。混群母猪表现出更多的俯卧、站立和攻击行为, 更少的探索和躺卧^[31]。生长猪的攻击行为随着混群时间的延长逐渐减少^[32]。哺乳期间, 对仔猪进行抚摸可以增加其运

动和增强其社会探索行为^[33]。断奶应激会导致仔猪出现较多的异常行为, 采食行为大幅减少, 而饮水、啃咬圈栏内物体的行为显著增加。虽然猪安抚信息素喷剂的使用可以降低断奶仔猪混群产生的不良影响^[34], 但实际生产中更多采用剪牙和断尾的方法。剪牙和磨牙处理过程中仔猪的噜噜声和磨牙的频率显著增加, 之后上述行为减少, 表现出较多的尖叫、夹尾和摇尾、逃跑等行为^[35]。断尾方式也会引发仔猪不同的行为变化, 其中侧钳断尾引起疼痛较大, 使得仔猪表现出更多夹尾和疾病行为等^[36]。剪牙和断尾总体还是增加了仔猪积极社会行为, 使得仔猪表现出更多单独躺卧行为和较少的玩耍和打斗^[37]。

去势管理可以降低公猪的性行为 and 攻击行为, 使得公猪更易管理。在 70~80 日龄, 小母猪、去势公猪具有更活跃的饮水、玩耍和性行为, 随着发育生长, 这些行为强度降低。去势公猪在 70~80 日龄拥有更多的运动, 但在 111~140 日龄明显降低。去势方法包括物理去势和免疫去势。相比而言, 免疫去势拥有较低的致死率, 同时使得运输过程中生猪更为安静^[38]。免疫去势随着时间影响生猪的躺卧、攻击和站立行为。免疫去势公猪在 81~100 日龄表现出更多的攻击行为和性行为, 增加其采食时间, 但在第二次免疫(110 日龄)后这些行为弱化。在对人一猪交互影响方面, 免疫去势的猪对人裤腿和靴子的咀嚼和摩擦力度更大。

2.5 健康状态

生猪的行为因其生理状态变化而变化, 生猪异常行为也会扰动免疫和激素等, 引起损伤, 严重时会导致疼痛和感染, 甚至发炎与脓肿, 这是兽医临床上根据异常行为诊断疾病的依据。患有胃溃疡的猪站立时间或步行时间更多, 且躺在左侧的时间较少^[39]。溶血性贫血、支气管疾病、疥癣和虱子的存在都会加重生猪咬尾、咬耳等不良群体行为。采食行为常被用来粗评生猪健康状况。猪群对不健康猪的排斥行为也可作为判定猪是否健康的依据。

3 生猪行为信息的监测方式

作为最具潜在应用优势的生猪智能养殖过程的监测指标, 对动物行为数据的动态采集变得尤为重要。传统的人工观察已不能满足智能养殖中规模数据的实时动态采集要求; RFID、红外线探测、超声波和机器视觉等传感技术, 结合各种算法, 对规模生猪行为信息数据的动态采集提供了实现途径。

3.1 传感器

最早用于生猪个体识别的 RFID 技术已经相当

成熟，借助登记猪在饮水器、料槽和游戏设备的访问记录，进而可以大致上确定猪的行为^[40]。已有学者开展了基于 RFID 的猪只个体饮水行为、采食行为、猪场产量与健康问题的相关分析。结合 RFID 读卡器和动物耳标，统计母猪在“接触窗”访问频率，可实现对群养母猪发情个体的自动标识和检测，发情期母猪的访问频率不断增加最终达到峰值。但是，基于 RFID 的监控方式需要给猪只加钉耳标，为侵入方式，且耳标易受猪破坏，给管理带来不便。

可穿戴的微型传感器因其质轻价廉，可对生猪行为进行一段时间的持续监测，备受研究人员青睐。基于可穿戴微惯性传感器可采集站、走、卧、躺 4 类生猪行为下对应的加速度、角速度和姿态角等信息，进行 LM (Levenberg-Marquardt) 模型训练，可实现准确率 92.64% 生猪行为识别。利用地毯式压力传感器监测母猪筑窝所表现的刨地、拱地等行为可用以综合预测分娩时间^[41]。利用三轴加速度传感器，可辨识出母猪侧躺和立卧姿态，结合多线程卡尔曼滤波方法，建立动态线性模型预测分娩时间，准确率达到了 89%^[42]；结合 K-均值聚类识别母猪产前的筑窝行为，建立二值 Logistic 回归的分娩预测模型，平均误差为 2.17 小时^[43]。同样，可穿戴传感器依赖于耳标、脚环等载体使用的缺点限制。专门应用于生猪行为监测的可穿戴传感器研发缓慢以及成本还未达到普惠程度，更是限制了传感器的规模应用。

红外线以其热成像原理和热效应被广泛运用于猪体温及猪舍环境温度的监测。基于红外线探测技术的光离子气体传感器 (Photo Ionization Detector, PID) (低成本被动红外探测传感器) 可提供实时、连续和定量数据，反映与行为相关的猪活动。使用红外探测器测定日运动量可监测母猪发情，正确率达到 80.5%^[44]。在分娩限位栏内仔猪活动区域设置热红外传感器，可监测母猪生产时间。红外边界传感器与超声波测距传感器以及射频信号读取器组成一个监测系统，可同时测定猪的采食次数和每次采食时间。基于由压力板分析推导的压力姿态变量和由图像预处理推导的视觉姿态变量所开发的跛脚检测系统可客观和准确使用步态视觉评分进行评估母猪跛行^[45]。红外设备使用的短板是对生猪养殖相对恶劣环境的适应性，包括高温、高湿、氧化和粉尘等不利因素。

3.2 机器视觉

作为一种非侵入的方式，应用机器视觉能够较好的实现生猪实时行为监测，及时发现异常行为，

提高相关疾病防控和自动化管理水平^[46]。目前，机器视觉在生猪上的应用主要集中于躺卧、移动、爬跨、攻击、饮水和饮食等行为的识别^[47]。袁登厅等^[48]利用支持向量机理论设计了多种姿态分类器，可对猪的正常行走、低头行走、抬头行走和躺卧等 4 种姿态进行识别。类似地，通过对猪只二值轮廓数据分析背部弧线曲率，可根据最近邻分类完成对猪的异常行为的判别。基于二值化图像，借助猪只轮廓关键点与质心的距离来识别猪只头部，进而确定饮水行为的发生，得到饮水次数与持续时间，可建立猪饮水量与其饮水时间的关联模型，但该方法对猪只头部的识别，且过度依赖于图像分割结果^[49]。基于时空兴趣点的生猪行为识别系统通过对比分析生猪扎堆取暖、采食、探究和慢走行为的时空兴趣点能有效地检测出生猪四种行为的运动部位和各自规律，准确率达到 90% 以上。

图像自动分析是基于视频监控的又一常见生猪行为监测方法。采用电荷耦合器件 (CCD) 相机和椭圆拟合算法可用来实现生猪活跃状态的监测^[50]；采用图像直方图匹配的椭圆近似分析手段可监控群养猪特定区域的运动信息以及行为轨迹追踪^[51]。基于视频图像处理的方式，可通过最小欧几里德距离计算，对妊娠舍的环境温度对仔猪的影响程度作出评价^[52]；通过优化的角度直方图算法，可对屠宰车间的生猪行为研究，确保其福利需求^[53]。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 78.38%^[54]。结合颜色和面积等图像特征的运动目标监测方法，可实现对第 1 头新生仔猪的图像识别，识别率达到 100%^[55]。此外，基于视频监控的猪只行为自动识别系统不胜枚举，包含基于行为学指标数据的猪只行为分类、基于支持向量机—隐马尔可夫 (Support Vector Machine-Hidden markov model, SVM-HMM) 混合模型的生猪姿态识别方法、基于 Gabor 方向直方图和支持向量机的猪个体身份识别等。

利用景深摄像机设计的自动监控系统可以完成生猪躺卧、坐立、站立、跪立、进食、饮水、抖动和攻击等行为的实时监控^[56-57]。利用机器视觉相关技术，基于星状骨架模型，可实现对猪正常行走和异常行走两种行为的自动判别，借助 3D 相机，也可通过对猪尾部姿势识别监控，进行群体咬尾事件的发生预警^[58]。

3.3 声学监测

发声是生猪的一种日常行为，受机体健康状态、

体重、年龄和性别等因素的影响。生猪发声和行为之间存在着 80% 的相关性,一定程度上能反映生猪机体状况以及生猪对养殖环境的适应能力。采用拾音器录制猪只咳嗽声音,分析计算建立猪只异常声音数据库,通过计算在咳嗽发作中连续咳嗽之间的均方根、峰值频率、持续时间和时间等因素,可实现对生猪咳嗽病情的自动辨识^[60]。

利用声波来监测猪行为理论上可行,试验也证明利用声音特征与运动特征相结合的方式可较高正确地辨识生猪犬坐、左卧和右卧行为^[59]。利用超声波定位技术进行猪只轨迹数据的采集,分析猪采食、排泄、休息和运动等行为轨迹,可实现猪只异常行为的自动分析。通过超声波传感器监测产前母猪头部、尾部和背部的活动量信息,将采集到的距离数据利用 K-means 聚类算法进行行为识别与分类,设计的猪产前行为监测系统,能够检测出母猪筑窝、站立和躺卧等行为,正确率达到 90.47%。不过,超声波监测容易受到障碍物影响因而在猪行为监测上应用也相当有限。通过声学技术对生猪行为监测的难点是生猪养殖群体较大,相互间具有干扰,难以实现个体识别。

4 生猪行为研究与应用面临的挑战

生猪行为繁多且具实时性,对其监控可实现生猪生产实时监控,确保其动物福利。猪的饮水次数及饮水量在健康和生病时存在显著差异,可用于识别病猪。通过 24 小时监控群养猪的排泄次数异常来确定疑似病猪,正确率达 78.38%^[54]。利用 Matlab 对视频中猪的脊腹线波动进行分析来判断猪呼吸急促症状。通过咳嗽音频的标准化压力均方差、峰值频率均值、咳嗽持续时间和咳嗽频率变化也可以用来发现染病猪^[61]。通过监测站立姿势和饮水行为也可以区分出生长缓慢的保育猪^[62]。异常行为,包括断奶猪的吮吸肚脐、吮吸包皮、吮吸耳朵和咬尾;生长猪咬尾、耳坏死、嚼蹄和咬腹等;妊娠母猪和断奶母猪会存在咬食外阴等,及时发现有利于在更早的阶段预警疾病的发生,完成病猪的尽早隔离,有效避免群体传染和经济损失。

目前,多数生猪行为研究更多关注品种、日粮组成、饲养环境、饲养管理等多种因素对生猪行为的影响,对生猪行为的生理机制鲜有研究,且多为实验室水平的几头或者几十头猪的行为监测分析,而对大规模群体行为的研究尚未开展。母猪生产是生猪养殖的关键环节,信息化进程最为快速,对母猪行为的研究较为丰富,而在精细控制要求不高的

其他生长阶段生猪的试验结果较少。目前有关于猪的行为研究多数集中在不同条件下生猪的某些特定行为的差异性,最适生产状态下的猪行为信息少有研究涉及,这使得我们在实际利用生猪行为信息时缺少参照。对生猪行为的研究主要受研究方法和研究设备的限制,虽然生猪行为监测方式方法和装备目前来说发展迅猛,但从整体来看,国内外对生猪行为的研究手段相对局限,除了针对生猪采食出现了商品化的全自动采食测定系统,缺少进行规模化生猪群体行为研究的平台。

5 应用案例

基于生猪行为可作为生猪运动功能、健康状态和精神状态的评估依据以及防疫耳标使用的现状,ZKJY 公司研发了基于三轴加速度传感器的可实现生猪行为动态监测的一体化智能耳标(图 1A),具备小型化、强养殖环境适用性、低功耗长期运行和加钉操作简便的优点;借助自主研发的数据汇聚网关(图 1B),可完成生猪行为数据的自动采集、存储和传输,能组成多通道、广区域实时监测网络,实现规模生猪群体的行为监测。经在湖南岳阳某猪场小规模应用(图 1C),可在公司北京本部进行数据收集与处理。构建生猪行为识别模型,实现对生猪行为类别的辨别和长时序地监测,及早发现病猪与健康猪的行为模式差别,助力非洲猪瘟等生猪疫情的科学防控。

图 2 为截取 2019 年 8 月 17 日 18:00—22:00 期间保育猪行为的部分数据,结果显示保育猪的采食、饮水、玩耍(站立、伏地)等日常行为具有明显差异化的三轴加速度传感数字化特征,再次证明基于三轴加速度传感器实现生猪行为监测的可行性。

6 结语

互联网、移动互联、云计算、大数据和物联网等技术领域的相互交叉和各新技术分支的不断引入,为低成本生猪行为信息采集传感器研发、大数据云平台构建、生猪行为信息数据深度发掘等提供了支撑。作为生猪养殖过程中最丰富的信息载体,生猪行为的动态监测数据,可作为生猪运动功能、健康状态和精神状态的重要评估依据。深化构建生猪行为与生猪生长状态、营养状态、健康状态等关联模型,将为生猪智能养殖提供环境监控、体况估测之外的另一有力数据抓手,助推生猪养殖过程控制的智能化发展。生猪个体行为的时空特异性和连贯性,可用来进行生猪个体识别,支持区域生猪数



图 1 生猪行为监测实例
Fig. 1 Demonstration of pig behavior monitoring
 (A : 智能耳标 ; B : 数据汇聚网关 ; C : 安装现场)

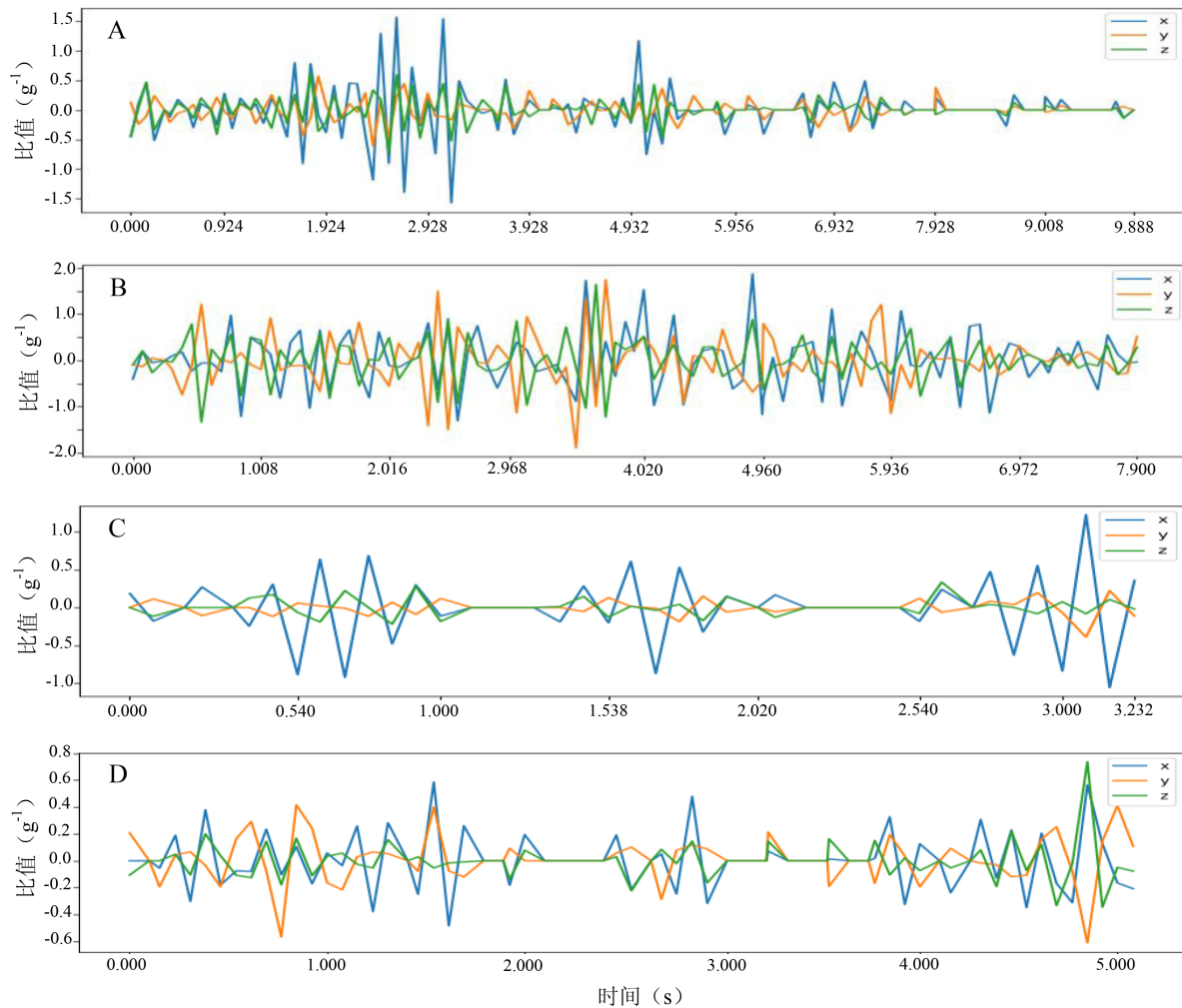


图 2 生猪几种常见行为的数字化特征 (三轴加速度传感器)

Fig. 2 The digital characteristics of several common pig behaviors (Three-axis acceleration sensor)

(横坐标 : 时间 ; 纵坐标 : 各方向轴加速度与重力加速度 g 的比值 ; x 、 y 、 z 为方向轴 ; A : 采食 ; B : 饮水 ; C : 站立玩耍 ; D : 伏地玩耍)

量、日龄及分布动态监控,进一步指导依据区域资源条件和环境承载能力,提出补栏与停止补栏的重要建议,战略性调整生猪养殖区域布局;动态监控区域生猪群体疾病状况及预警;进行病死猪数量、分布监测及资源化处理监管。

参考文献 :

[1] Ilan H, Marcella G, Jeffrey B, et al. Smart animal agriculture: Application of real-time sensors to improve animal well-being and production[J]. Annual Review of Animal Biosciences, 2019, 7:

403-425.
 [2] Norton T, Chen C, Larsen M, et al. Review: Precision livestock farming: Building ‘digital representations’ to bring the animals closer to the farmer[J]. Animal, 2019, 13(12): 3009-3017.
 [3] Chakravarty P, Cozzi G, Dejnabadi H, et al. Seek and learn: Automated identification of microevents in animal behaviour using envelopes of acceleration data and machine learning[J]. Methods in Ecology and Evolution, 2020, 11(12): 1639-1651.
 [4] Jiang W, Wang K, Lü Y, et al. Time series based behavior pattern quantification analysis and prediction - A study on animal

- behavior[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2020, 540: 122884. DOI: 10.1016/j.physa.2019.122884.
- [5] Yang A, Huang H, Zheng B, et al. An automatic recognition framework for sow daily behaviours based on motion and image analyses[J]. *Biosystems Engineering*, 2020, 192: 56-71.
- [6] Cha C, Park E, Yoo C, et al. Changes in the appetite and behavior of cattle and pigs inoculated with the foot-and-mouth disease vaccine[J]. *Journal of the Preventive Veterinary Medicine*, 2016, 40(4): 166-168.
- [7] Matthews S, Miller A, Clapp J, et al. Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs[J]. *The Veterinary Journal*, 2016, 217: 43-51.
- [8] 杨茗茜, 张会永, 杨关林. 猪的常用行为术语及定义 [J]. *辽宁中医药大学学报*, 2016, 18(7): 77-83.
- Yang M Q, Zhang H Y, Yang G L. Common behavioral terms and definitions of pigs[J]. *Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine*, 2016, 18(7): 77-83.
- [9] 时超. 杜洛克、长白、大白猪采食特性与生长性能研究 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2016.
- Shi C. Study on feeding characteristics and growth performance of Duroc, Changbai and Large White pigs[D]. Kunming: Yunnan Agriculture University, 2016.
- [10] Fleming S, Dilger R. Young pigs exhibit differential exploratory behavior during novelty preference tasks in response to age, sex, and delay[J]. *Behavioural Brain Research*, 2017, 321: 50-60.
- [11] 崔世泉, 丁肖, 黄宣凯, 等. 不同品种母猪哺乳期防御性攻击行为研究 [J]. *东北农业大学学报*, 2018, 49(6): 80-87.
- Cui S Q, Ding X, Huang X K, et al. Study on defensive aggression behavior of different breeds of sows during lactation[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2018, 49(6): 80-87.
- [12] Andersen I, Berg S, Egilbøe K. Crushing of piglets by the mother sow (*Sus scrofa*)-purely accidental or a poor mother?[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2005, 93(3/4): 229-243.
- [13] Baxter E, Jarvis S, Sherwood L, et al. Genetic and environmental effects on piglet survival and maternal behaviour of the farrowing sow[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2011, 130(1/2): 28-41.
- [14] Teng G, Yu Q. Pig behavior research and its application in breeding-landrace pigs as an example[J]. *Biomedical Research-India*, 2017, 28(S1): S111-S117.
- [15] Irene C, Ursinus W, Bartels A, et al. Indirect genetic effects for growth in pigs affect behaviour and weight around weaning[J]. *Behavior Genetics*, 2018, 48(5): 1-8.
- [16] Petersen V, Simonsen H, Lawson L. The effect of environmental stimulation on the development of behaviour in pigs[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 1995, 45(3/4): 215-224.
- [17] Carc G, Dallabona M, Carraro L, et al. Influence of mild feed restriction and mild reduction in dietary amino acid content on feeding behaviour of group-housed growing pigs[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2018, 198: 27-35.
- [18] Souza D, Haenen D, Koopmans S, et al. Effects of resistant starch on behaviour, satiety-related hormones and metabolites in growing pigs[J]. *Animal*, 2014, 8(9): 1402-1411.
- [19] Nofre C, Glaser D, Tinti J, et al. Gustatory responses of pigs to sixty compounds tasting sweet to humans[J]. *Journal of Animal Physiology & Animal Nutrition*, 2002, 86(3/4): 90-96.
- [20] Zoric M, Johansson S, Wallgren P. Behaviour of fattening pigs fed with liquid feed and dry feed[J]. *Porcine Health Management*, 2015, 1: 14. DOI: 10.1186/s40813-015-0009-7.
- [21] 蒲红州, 陈磊, 张利娟, 等. 湿热环境对自由采食生长育肥猪采食行为的影响. *动物营养学报* [J]. 2015, 27(5): 1370-1376.
- Pu H Z, Chen L, Zhang L J, et al. Effect of hot and humid environment on feeding behavior of free-feeding and finishing pigs[J]. *Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(5): 1370-1376.
- [22] Huynh T, Aarnink A, Gerrits W, et al. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2005, 91(1/2): 1-16.
- [23] Moinard C, Mendl M, Nicol C, et al. A case control study of on-farm risk factors for tail biting in pigs[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2003, 81(4): 333-355.
- [24] Bulens A, Van Beirendonck S, Van Thielen J, et al. A two-level pen for fattening pigs: Effects on behavior, performance, and post slaughter measurements[J]. *Journal of Animal Science*, 2017, 95(2): 616-625.
- [25] Talling J, Waran N, Wathes C, et al. Behavioural and physiological responses of pigs to sound[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 1996, 48(3/4): 187-201.
- [26] Casal-Plana N, Manteca X, Dalmau A. Influence of enrichment material and herbal compounds in the behaviour and performance of growing pigs[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2017, 195: 38-43.
- [27] Dalmau A, Areal B, Machado S, et al. Does the location of enrichment material affect behavior and dirtiness in growing female pigs?[J]. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 2018, 22(2): 116-126.
- [28] Torrey S, Widowski T. Effect of drinker type and sound stimuli on early-weaned pig performance and behavior[J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 82(7): 2105-2114.
- [29] Jensen P, Yngvesson J. Aggression between unacquainted pigs-sequential assessment and effects of familiarity and weight[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 1998, 58(1/2): 49-61.
- [30] Jensen P. Fighting between unacquainted pigs-effects of age and of individual reaction pattern[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 1994, 41(1/2): 37-52.
- [31] Ison S, Donald R, Jarvis S, et al. Behavioral and physiological responses of primiparous sows to mixing with older, unfamiliar sows[J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92(4): 1647-1655.
- [32] Arey D, Franklin M. Effects of straw and unfamiliarity on fighting between newly mixed growing pigs[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 1995, 45(1/2): 23-30.
- [33] Zupan M, Rehn T, de Oliveira D, et al. Promoting positive states: The effect of early human handling on play and exploratory behaviour in pigs[J]. *Animal*, 2016, 10(1): 135-141.
- [34] Déborah T, Héloïse B, Mainau E, et al. Preliminary findings on the effect of the pig appeasing pheromone in a slow releasing block on the welfare of pigs at weaning[J]. *Porcine Health Management*, 2016, 2: 13. DOI: 10.1186/s40813-016-0030-5.
- [35] Noonan G, Rand J, Priest J, et al. Behavioural observations of piglets undergoing tail docking, teeth clipping and ear notching[J].

- Applied Animal Behaviour Science, 1994, 39(3/4): 203-213.
- [36] Marchant-Forde J, Lay D, Mcmunn K, et al. Postnatal piglet husbandry practices and well-being: The effects of alternative techniques delivered separately[J]. Journal of Animal Science, 2009, 87(4): 1479-1492.
- [37] Zhou B, Yang X, Zhao R, et al. Effects of tail docking and teeth clipping on the physiological responses, wounds, behavior, growth, and backfat depth of pigs[J]. Journal of Animal Science, 2013, 91(10): 4908-4916.
- [38] Guay K, Salgado G, Thompson G, et al. Behavior and handling of physically and immunologically castrated market pigs on farm and going to market[J]. Journal of Animal Science, 2013, 91(11): 5410-5417.
- [39] Rutherford K, Thompson C, Thomson J, et al. A study of associations between gastric ulcers and the behaviour of finisher pigs[J]. Livestock Science, 2018, 212: 45-51.
- [40] Maselyne J, Adriaens I, Huybrechts T, et al. Measuring the drinking behaviour of individual pigs housed in group using radio frequency identification (RFID)[J]. Animal, 2016, 10(9): 1557-1566.
- [41] Ahokas J. Using movement sensors to detect the onset of farrowing[J]. Biosystems Engineering, 2008, 100(2): 281-285.
- [42] Cécile C, Lundbye-Christensen S. Modeling of sows diurnal activity pattern and detection of parturition using acceleration measurements[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2012, 80: 97-104.
- [43] 刘龙申, 沈明霞, 姚文, 等. 基于加速度传感器的母猪产前行为特征采集与分析 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(3): 192-196.
- Liu L S, Shen M X, Yao W, et al. Acquisition and analysis of sows' behavior before farrowing based on acceleration sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(3): 192-196.
- [44] Freson L, Godrie S, Bos N, et al. Validation of an infra-red sensor for oestrus detection of individually housed sows[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1998, 20(1): 21-29.
- [45] Pluym L, Maes D, Vangeyte J, et al. Development of a system for automatic measurements of force and visual stance variables for objective lameness detection in sows: SowSIS[J]. Biosystems Engineering, 2013, 116(1): 64-74.
- [46] Wurtz K, Camerlink I, D'Eath R, et al. Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review[J]. PLoS ONE, 2019, 14(12): e0226669. DOI: 10.1371/journal.pone.0226669.
- [47] Nasirahmadi A, Hensel O, Edwards S, et al. Automatic detection of mounting behaviours among pigs using image analysis[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 124: 295-302.
- [48] 袁登厅, 朱伟兴, 李新城. 基于 Zernike 矩及支持向量机的猪的姿态识别 [J]. 信息技术, 2015(1): 93-96.
- Yuan D T, Zhu W X, Li X C. Pose recognition based on zernike moment and support vector machine[J]. Information Technology, 2015(1): 93-96.
- [49] Kashiha M, Bahr C, Haredasht S, et al. The automatic monitoring of pigs water use by cameras[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 90: 164-169.
- [50] Kashiha M, Bahr C, Ott S, et al. Automatic identification of marked pigs in a pen using image pattern recognition[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 93: 111-120.
- [51] Kashiha M, Bahr C, Ott S, et al. Automatic monitoring of pig locomotion using image analysis[J]. Livestock Science, 2014, 159: 141-148.
- [52] Shao B, Xin H. A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 62(1): 15-21.
- [53] Gronskytte R, Clemmensen L, Hviid M, et al. Pig herd monitoring and undesirable tripping and stepping prevention[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 119: 51-60.
- [54] 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.
- Zhu W X, Pu X F, Li X C, et al. Suspected sick pig automatic identification system based on behavioral monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(1): 188-192.
- [55] 刘龙申, 沈明霞, 柏广宇, 等. 基于机器视觉的母猪分娩检测方法研究 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(3): 237-242.
- Liu L S, Shen M X, Bai G Y, et al. Sows parturition detection method based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(3): 237-242.
- [56] Lao F, Brown-Brandt T, Stinn J, et al. Automatic recognition of lactating sow behaviors through depth image processing[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 125: 56-62.
- [57] Lee J, Long J, Park D, et al. Automatic recognition of aggressive behavior in pigs using a kinect depth sensor[J]. Sensors, 2016, 16(5): 631.
- [58] D'Eath R, Jack M, Futro A, et al. Automatic early warning of tail biting in pigs: 3D cameras can detect lowered tail posture before an outbreak[J]. PLoS ONE. 2018, 13(4): e0194524. DOI: 10.1371/journal.pone.0194524.
- [59] 李颀, 王丹聪. 基于多传感器的猪只行为辨识 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(9): 95-99, 246-248.
- Li Q, Wang D C. Pig behavior recognition based on multi-sensor[J]. Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary, 2018(9): 95-99, 246-248.
- [60] Ferrari S, Silva M, Guarino M, et al. Cough sound analysis to identify respiratory infection in pigs[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 64(2): 318-325.
- [61] Vasileios E, Mitchell S, Sara F, et al. Time-series analysis for online recognition and localization of sick pig (*sus scrofa*) cough sounds[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2008, 124(6): 3803-3809.
- [62] He Y, Deen J, Shurson G, et al. Behavioral indicators of slow growth in nursery pigs[J]. Journal of Applied Animal Welfare Science, 2018, 21(4): 389-399.

RESEARCH OF AGRICULTURAL MODERNIZATION (Bimonthly)

Vol. 42, No. 1 (Sum. No. 242)

Jan., 2021

CONTENTS

- Intelligent breeding: The research and application of pig behavior
..... FENG Ze-meng, ZHANG Yun-hua, HE Yu-min, WANG Quan, ZHOU Jiao-gen, YE Lun, LI Tie-jun, YIN Yu-long (1)
- The status and the value of rice farming cultural heritage in the Yangtze River Economic Belt HUANG Guo-qin (10)
- The scientific connotation and the basic path of rural green development from the perspective of urban-rural integration
..... YANG Wen-jie, GONG Qian-wen (18)
- Privatization reform of Israel's Kibbutzim and its implications LIU Tie-zhu, YUAN Peng (30)
- Modernizing rural towns with agricultural characteristics under the guidance of the whole industrial chain: A case study of the Northern
International Seedling Town LI Dao-yong, LIU Meng-ge, ZHANG Bo, TIAN Chi, ZHANG Hui-hui (39)
- The research and application of the visual identification system in rural revitalization planning
..... ZHANG Hai-yu, ZHANG Peng, MA Yun-fei, ZHANG De-lin (49)
- The mode and mechanism of poverty alleviation through rural tourism based on the Actor Network Theory: A case study of Leiyingsi
village in Chifeng City WANG Gong-wei, ZHAO Zhong-wei (57)
- Biased technological change and transformation of China's Grain growth path: An empirical study of corn production provinces from
1978 to 2018 ZHANG Qi, ZHU Man-de, LIU Chao (67)
- Farmers' part-time employment, production outsourcing and grain-oriented planting structure
..... ZHOU Li-ping, ZAN Qi-qi, WENG Zhen-lin (78)
- The impacts of local agricultural insurance policies on agricultural product market: A case study of Wuhan vegetable market
..... SONG Chang-ming, XIAO Xiao-yong, LI Chong-guang (85)
- The market power effect of agricultural scale economies: An empirical analysis of Heilongjiang, Jilin and Shandong Provinces
..... SHI Xiu-yi, WANG Yan-qi (94)
- The analysis of the spatio-temporal differentiation characteristics of the total factor productivity of beef cattle in China: Based on the non-
parametric metafrontier analysis method LI Jun-ru, WANG Ming-li, YANG Chun, SHI Zi-zhong (103)
- Urban consumers' preference and its heterogeneity for milk with carbon footprint label: An analysis based on choice experiment method
..... ZHANG Hong, HAN Zi-xu, XIONG Hang (112)
- The adoption behaviors and income effects of soil testing and formula fertilization technology on family farms
..... LIU Chang, ZHANG Xin-Yu, ZHANG Wei (123)
- Ecological security evaluation and main effects analysis around Dongting Lake based on the improved Pressure-State-Response model
..... GUO Ya-ling, LI Qiao-yun (132)
- Influence of children's gender on migrant labors' choice of working place: Evidence from the CLDS data
..... LI Meng-hua, QIAN Wen-rong (142)
- Effects of climate change and farmers' adaptive behaviors on soybean planting acreage
..... ZHANG Xue, ZHOU Mi, ZHANG Li-min (153)
- Extraction of the phenology of sugarcane in Guangxi based on MODIS-LAI data
..... XIE Xin-chang, YANG Yun-chuan, TIAN Yi, LIAO Li-ping, WEI Jun-pei, ZHOU Jin-yu, CHEN Li-hua (165)
- The effects of combined application of pig manure and chemical fertilizers on soil nitrogen contents and nitrogen use efficiency in a
subtropical paddy field
..... SUN Ming-hong, JIANG Bing-shen, SHEN Jian-lin, SONG Bian-lan, LI Qiao-yun, LI Yong, WU Jin-shui (175)

Editors in duty TONG Cheng-li, WANG Yu-hua

《农业现代化研究》第五届编委会

顾 问：傅伯杰 印遇龙 邹学校 骆世明 吴金水
主 编：王克林
副主编：张林秀 史志华 刘黎明 王育花（常务）
编 委：柏连阳 曹林奎 曾希柏 陈利顶 邓 伟 葛体达
谷树忠 胡新艳 孔祥智 匡远配 李德军 刘世荣
刘彦随 刘 颖 梅旭荣 彭 建 谭支良 王 飞
王亚华 吴志峰 武拉平 夏显力 谢炳庚 谢永宏
辛 岭 徐志刚 颜晓元 杨林章 张兴义 章家恩
赵文武 周清波 朱教君 朱满德 宋宝辉 章春华
编辑部：童成立 王育花

农业现代化研究
NONGYE XIANDAIHUA YANJIU

(双月刊, 1980年创刊)
第42卷第1期(总第242期) 2021年01月

RESEARCH OF AGRICULTURAL
MODERNIZATION

(Bimonthly, started in 1980)
Vol. 42, No. 1 (Sum. No. 242) Jan., 2021

主 管	中国科学院	Administrated by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院亚热带农业生态研究所	Sponsored by	Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences
出 版	科学出版社 (北京东黄城根北街16号, 邮编:100717)	Published by	Science Press(16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China)
主 编	王克林	Chief Editor	WANG Ke-lin
编 辑	《农业现代化研究》编辑部 地址: 湖南长沙市芙蓉区远大二路644号 邮编:410125 电话: 0731-84615231 E-mail: nyxdhbj@isa.ac.cn	Edited by	Editorial Department of Research of Agricultural Modernization
印刷装订	湖南省农业科学院印刷厂	Address	No. 644, Yuanda 2nd Road, Furong District, Changsha City, Hunan, China
国内总发行	中国邮政集团公司湖南省报刊发行局	Postal Code: 410125 Telephone: 0731-84615231	
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮编:100044	Distributed	China International Book Trading Corporation
订 购 处	全国各地邮政局(所)	Abroad by	(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

ISSN 1000-0275
CN 43-1132/S

国内邮发代号 42—46
国外发行代号 BM6665

国内外公开发行
定价:15.00元