

闫丽,沈明霞,刘龙申,等.猪行为自动监测技术研究现状与展望[J].江苏农业科学,2016,44(2):22-25.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.006

# 猪行为自动监测技术研究现状与展望

闫丽<sup>1,2</sup>,沈明霞<sup>1</sup>,刘龙申<sup>1</sup>,陆明洲<sup>1</sup>

(1.南京农业大学工学院,江苏南京 210031; 2.黑龙江八一农垦大学信息技术学院,黑龙江大庆 163319)

**摘要:**作为评价动物福利条件最直接的证据,也是动物行为学研究的核心内容,行为是对猪的运动功能、高级中枢神经功能和精神状态的评估,能够全面反映机体的整体状态,通过行为能够了解动物的适应性、生存所需要的条件及情感需求。选取母猪为主要研究对象,归纳分析母猪在发情、分娩、哺乳和疾病各阶段所表现的活动形式、身体姿势、外表上可辨认的变化以及发声等行为特性,并针对这些行为,对目前国内外学者已经使用的包括电子测量、视频、音频等计算机自动监测技术进行综述,进一步提出对现有监测技术的改进建议,以期精准掌握猪的行为习性,创造适于猪生长的饲养环境,从而提高猪的生产性能。

**关键词:**母猪行为;母性行为;异常行为;自动监测;监测技术

**中图分类号:** S126; TP274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0022-04

目前,养殖户利用现代技术测量如通风率、温度、湿度和有害气体等畜舍参数已十分普遍<sup>[1-4]</sup>,但对畜舍中动物行为的监测与识别却仍没有满意的技术。2013 年比利时的 Berckmans 教授首次提出精准动物养殖(Precision Livestock Farming)的概念,即提供连续、实时、自动的监控和观察,使养殖户能够监测和控制动物的健康和福利状态<sup>[5]</sup>。2013 年我国人均消耗猪肉 40.65 kg<sup>[6]</sup>,猪作为人类食物的重要来源,其健康关系着食品安全、人类健康、环境污染和贸易壁垒等一系列问题。猪和人类一样有感知、痛苦、恐惧等情感需求,作为表达感觉的肢体语言,行为表达着猪的喜怒哀乐、各种生理需求及欲望。猪经过不断驯化,常见的行为模式从野猪的二十几种减少到家猪十余种,包括采食、排泄、群居、争斗、性、母

性、活动与睡眠、探究、异常和后效行为等<sup>[7]</sup>。精确了解猪的行为可有效提高猪肉生产的质量,其中对母猪行为的精准监测尤为重要。本研究首先针对母猪各阶段的行为特性进行归纳与分析,针对其行为,对目前国内外已经使用的计算机自动监测识别技术进行综述。目的是能够精准掌握猪的行为习性,创造适于猪习性的饲养环境,提高猪的生产性能,从而获得最佳的经济效益。

## 1 猪的行为分类

对于猪的行为研究源自于行为观察,从文明狩猎阶段起,人们通过观察野猪的活动规律来提高获取猎获的概率;随着野猪家养,人们开始有目的地观察和掌握猪的生活周期和行为规律。猪的行为由活动形式、发声和身体姿势,以及外表上可辨认的变化组成。作为最主要的生产力,母猪担负繁育仔猪的职能,母猪的行为及健康受到养殖户和行为专家的重视,其中针对母猪的发情行为、分娩行为、母性行为开展了一系列研究,监测方法也由最初的人工观察,向智能的电子测量、视频监测和声音监测发展。

收稿日期:2015-02-12

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201003011);黑龙江省青年科学基金(编号:QC2014C078)。

作者简介:闫丽(1979—),女,吉林梨树人,博士研究生,讲师,主要从事设施养殖方面的研究。E-mail:bynd\_yanli@163.com。

通信作者:沈明霞,教授,博士生导师,主要从事机器视觉和信息农业研究。E-mail:mingxia@njau.edu.cn。

[51] Akowuah J O, Addo A, Bart-Plange A. Influence of drying temperature and storage duration on fissuring and milling quality of jasmine 85 rice variety [J]. Journal of Science and Technology, 2012, 32 (2): 26-33.

[52] 张慧明. 稻谷及时干燥特性和品质的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012.

[53] Ibrahim M N, Talab K T, Spotar S, et al. Effects of airflow reversal in fixed-bed drying of rough rice on head rice yield and drying performance [J]. Transactions of the ASABE, 2013, 56(4): 1485-1493.

[54] 邱学岚,郑先哲. 稻米品质的评价[J]. 农机化研究, 2005(4): 34-36.

[55] 董瑞婷. 稻谷储藏中水分含量与稻谷品质关系的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.

[56] 孟祥国,郑先哲,张强. 稻谷及时干燥工艺对品质影响[J]. 农机化研究, 2014, 36(3): 149-153.

[57] 阮少兰,毛广卿. 大米蒸煮品质的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2004(10): 25-26.

[58] 郑先哲,赵学笃. 稻米食味值测定及干燥品质的研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4): 54-56, 60.

[59] 徐泽敏. 稻谷真空干燥品质控制机理及食味特性的研究[D]. 长春:吉林大学,2008.

[60] 隋炯明,李欣,严松,等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状相关性研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 657-663.

[61] 贾良,丁雪云,王平荣,等. 稻米淀粉 RVA 谱特征及其与理化品质性状相关性的研究[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 790-794.

[62] 李刚,邓其明,李双成,等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状的相关性[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(1): 99-102.

### 1.1 发情行为

猪的正常繁殖,首先取决于母猪能否正常发情,然后才能使其配种受孕。及时、正确地鉴别出母猪发情并适期配种是提高母猪受孕率的技术关键。当母猪发情时,由于生理的一系列变化产生独特的行为表现:(1)精神兴奋不安,对周围环境动静反应敏感;(2)活动量增加;(3)少食或不食;(4)发出哼哼声。因此,监测发情的方法包括监测运动量变化、公猪试情法以及对饮食情况的监测,而判定母猪的最佳配种时机则常采用背压法。

**1.1.1 监测运动量的变化** 发情期母猪的活动量显著增加,其中睡卧减少,站立和走动次数明显增多,常常伴有爬栏、跳圈等现象。人们常采用电子测量设备来计算运动量,其中最早使用的计量工具是计步器。计步器通过一个平衡锤的上下振动使触点出现通断动作的振动传感器来计数。利用猪运动时身体重心上下移动的原理,计步器可以检测行走步数和静躺时间。计步器已应用于欧洲的奶牛场,每头牛都配有计步器,用于记录牛运动的强度和运动量,了解奶牛的健康状况。1941 年 Altmann 将计步器佩戴在母猪躯干上,用于检测母猪发情,试验表明在发情期的 1~3 d 里,其活动量是平常的 2 倍<sup>[8]</sup>。

近年来,人们多利用红外线、加速度计、RFID 技术来提高对母猪发情检测的识别率。针对生活在限位栏的母猪,在猪肩部上方 50 cm(距离地面 1.6 m)处安装红外探测器,母猪站立立即进入红外探测器的感应范围(0.65 m × 1 m),站立状态下发生的运动行为会引起位置变化,基于红外探测器的热电原理,探测器检测到母猪身体发出的热辐射的温度不同,最终引起探测器输出信号——电压值的变化,Freson 等将平均电压值记为母猪的日运动量,监测发情的正确率达到 80.5%<sup>[9]</sup>。对于检测站立或者躺卧、靠近或是远离等行为趋势的识别,红外探测器具有安装简单、可靠性高、对被测动物无干扰的优点,但对于运动行为的强度却无法细致区分。

加速度传感器是测量加速力的电子设备,运动过程中会产生规律性的振动,单轴加速度计可以检测振动的过零点,从而计算出所走的步数或跑步的步数,用于制造 MEMS 计步器。Bressers 利用一个含单轴加速度传感器的颈圈来记录母猪的行为,以平均幅值及超过限定阈值的信号数量作为参数计算运动量<sup>[10]</sup>,研究表明,母猪发情期间的加速度变化量显著增加,当加速度阈值设定为 10 m/s<sup>2</sup>,统计运动量比发情前一天高 10 倍<sup>[11]</sup>。对比红外探测器和单轴加速度传感器在母猪发情检测的正确识别率分别为 72% 和 53%<sup>[12]</sup>。

为了更好地区分运动强度、识别母猪的姿态,2007 年 Cornou 等首次将 3 轴加速度传感器(分别指向水平方向的  $x$ 、 $y$  轴和竖直方向  $z$  轴)应用于母猪运动量的统计计算中,根据运动的强度将母猪行为分为运动和静止 2 类,其中侧躺和卧躺组成了静止休息类,而运动类则包括高强度运动如采食、走动行为和中等强度的站立、趴卧行为。利用  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴及其合成加速度 4 个数值来区分这 2 类行为,准确率分别为 96% 和 100%<sup>[13]</sup>。应用 RFID 射频技术,可实现对猪群中单个个体的识别,Naas 利用 RFID 读卡器和动物耳标,实现对群养母猪发情个体的自动标识和检测<sup>[14]</sup>。

**1.1.2 公猪试情法** 采用公猪试情是养猪场内最经济、实用的人工查情方法。母猪在试情公猪前出现寻找、靠近公猪、

鼻-鼻接触、静立反射(back pressure test 或呆立反应)等特征是确立母猪是否发情的行为表现。但人工查情方法工作量繁重,判定结果易受主观因素干扰,因此国外养殖场多采用 2 种方式来计算母猪特征行为出现的频率和时长,以此自动监测母猪探视公猪栏的感知行为。方式一,利用“接触窗”,观察母猪与公猪发生鼻-鼻接触等亲近行为。Houwens 等在“接触窗”内安装感应装置用于统计母猪的访问频率,数据显示在发情期母猪的访问频率不断增加最终达到峰值<sup>[15]</sup>;Korthals 观测了 7 397 头母猪的日常滞留时长,试验数据服从 92 s/d 的 Poisson 分布,其阈值为 10 min/d,发情检测的识别度为 76.4%<sup>[16]</sup>;Blair 等设置滞留时长阈值为 4.43 min/d,识别率达到 100%<sup>[17]</sup>。方式二,建立 1 个通往公猪栏的专用通道作为特定检测区域,在通道中安装感应器或视频监控装置,计算行为感知指数。行为感知指数(boar visiting index, BVI)由频率  $f$  和时长  $d$  组成,则有:

$$BVI = r_f \times f + r_d \times d. \quad (1)$$

式中: $r_f$ 、 $r_d$  为频率和时长的相关系数。Ostersen 等将 RFID 读写器安装在接触窗口内,记录通过接触窗口亲近公猪的母猪耳标值及亲近行为开始、结束时间,用于计算 BVI<sup>[18]</sup>。Bressers 等分别用时长  $d$  和 BVI 为特征的识别率为 93% 和 96%<sup>[19]</sup>。

**1.1.3 监测饮食** 母猪在发情期血液中雌激素水平增加导致食物摄入量减少,出现食欲不振的现象,因此监测食物的摄取量变化是识别母猪发情的方法之一。可通过监测电子饲喂系统或观察母猪采食时间的运动量变化来了解母猪的食物摄取量的变化。母猪电子饲喂系统(electronic sow feeders, ESF)利用控制中心的科学运算实现对多台饲喂器终端精确投饲管理。ESF 通过 RFID 对进食的猪进行自动识别,记录进食量和进食时长并自动测量母猪的日增质量情况,通过 ESF 可发现处于发情期而采食异常的猪。Cornou 等通过 ESF 观察母猪交配后第 18 天至第 22 天的采食情况,发情预测的准确率为 79%<sup>[20]</sup>。而刘龙申利用三轴加速度合成值观察母猪的日常运动量,运动量曲线具有周期性且呈现 2 个波峰,分别对应着每日的采食时间<sup>[21]</sup>。发情期母猪的运动频率明显增加,而饮食时间的运动量减少,也说明母猪发情期食欲不振。

### 1.2 母性行为

母性行为包括分娩、哺乳以及产前的筑窝和产后舔净仔畜等一系列行为。良好的母性行为对子代的成活和生长非常重要。当今种猪育种目标主要是提高增长率、瘦肉率及增加产仔数等经济性性状,但过于注重经济性性状的选择,会导致母猪产仔数与仔猪死亡率同步上升的负效应。特别是在大型现代化养殖企业中,在非人为干涉条件下母猪能否很好地哺育后代特别重要,此时,母猪母性能力对仔猪在哺乳期的存活率和日增质量具有非常重要的影响。

**1.2.1 分娩行为** 相比欧洲国家新生仔猪的死亡率仅为 9%,而我国高达 17%~30%<sup>[22-23]</sup>,因而对母猪分娩行为的自动监测广受关注,准确预测分娩时间、监控分娩行为,及时发现新生仔猪,有助于仔猪接生、避免因疏忽造成仔猪死亡。母猪分娩前常伴有衔草筑窝、躁动不安、食欲减退等行为。Oliviero 等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,利用光电传感器计算筑窝行为导致的运动增量,以此作为参数来综合预测分娩时间<sup>[24]</sup>;Cornou 等采用三

轴加速度传感器结合多线程卡尔曼滤波方法进行行为分类,通过动态线性模型预测分娩时间,准确率达到 89%<sup>[25]</sup>。刘龙申等同样采用三轴加速度传感器,利用 K-均值聚类识别产前的筑窝行为,建立二值 Logistic 回归的分娩预测模型,平均预测误差为 2.17 h<sup>[26]</sup>。同时,对于新生仔猪的自动监测可用于计算母猪的实际分娩时间。Labrecque 等在分娩限位栏内仔猪活动区域设置热红外传感器,监测新生仔猪的出现,并及时通知饲养员<sup>[27]</sup>。刘龙申等提出结合颜色和面积等图像特征的运动目标监测方法,实现对第 1 头新生仔猪的图像识别算法,识别率达到 100%<sup>[28]</sup>。

1.2.2 哺乳行为 哺乳期母仔之间彼此交流和认知主要通过声音来进行,仔猪在出生后 2 h 通过母猪发声的振幅和频率来辨别自己的母亲。仔猪出生的最初几周,母猪多表现为主动授乳的侧卧姿,并发出“呼叫看护声”来吸引仔猪,直到最后一头仔猪到达乳头,母猪叫声才转换成“哼哼呼噜”放乳声,以此方式来建立仔猪的采食模式;放乳声是由 1 个低频范围内不同频率的无调的、嘈杂的声音组成<sup>[29]</sup>,声音的发出与母乳的排出之间存在固定的联系,哺乳母猪最初以 1 次/s 平缓的频率哼叫,随后频率急剧加快至 3 次/s,持续 15~25 s 之后频率逐渐下降直到哼叫消失,此时哺乳过程结束<sup>[30]</sup>。

### 1.3 异常行为

动物行为可在某种程度上缓解环境变化给个体造成的心理及生理的压力。当环境改变超出一定限度,动物无法适应这一环境时,其行为常常会表现出异常。因此,异常行为的表达是环境“不适症”在行为学上的体现。

1.3.1 行为规癖 随着养殖规模化,为了减少挤压仔猪的致死概率,后备母猪和分娩母猪生活在限位栏中,然而,限制环境里的母猪经常面临环境刺激贫瘠的情况,自然行为表达被严重抑制,出现了行为规癖等心理问题。例如,分娩前的蹄刨地、嘴拱地等表现,限饲造成的啃栏、啃槽以及无食咀嚼等异常行为。行为规癖的出现常伴随着心理挫折和心理应激过程,与母猪试图逃出所处环境而不能成功所带来的心理厌恶有关<sup>[31]</sup>。Bao 等利用瞳孔对光反射技术观察母猪在慢性应激下瞳孔的压力反应,并将瞳孔收缩时间 (PLRT) 作为衡量母猪心里沮丧状态的指标<sup>[32]</sup>。

同时,行为规癖也会引起下丘脑后侧面积及观察扩散的减少、杀伤细胞的细胞毒性减少,导致免疫力低下,从而引起其他生理疾病。疾病是在一定病因下,身体自稳调节紊乱而发生异常生命活动的过程,从而诱发一系列代谢、功能、结构的变化,表现为症状、体征和行为的异常。

1.3.2 疾病诊断 异常行为可用于进行环境调节预警或者及时发现动物疾病。适宜的环境是猪健康的基本保障,Shao 等利用红外摄像头监测群养仔猪的图像,使用最小欧几里德距离计算猪群紧密程度评定猪舍温度的舒适度,从而进行温度调控。若因环境异常或自身免疫力低下,猪一旦生病,即长期处于病情应激状态,胃肠道功能会发生变化,出现食量下降甚至不食的现象<sup>[33]</sup>。Kruse 等研究了哺乳期母猪的饮水情况,发现在健康和患病期猪的饮水次数及饮水量存在显著差异,用于识别患病母猪;而其消化系统的消化酶分泌不足也会导致腹泻问题<sup>[34]</sup>。朱伟兴等利用安装于猪舍排泄区的嵌入式监控设备对群养猪的排泄行为进行 24 h 监控,对每天排泄

次数异常的猪认为是疑似病猪,病猪检测正确率为 78.38%<sup>[35-36]</sup>。与呼吸道有关的疾病是猪的常见、多发疾病,常伴有呼吸困难、咳嗽等症状。纪滨等利用 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,脊腹线的识别精度高于 85%,且其波动频率与猪的人工呼吸急促症状估值呈线性正相关<sup>[37]</sup>;Ferrari 等通过临床检查筛选染病猪并采集其咳嗽声,发现染病猪咳嗽音频的标准化压力均方差、峰值频率均值、咳嗽持续时间及咳嗽频率都异于健康猪<sup>[38]</sup>。对于猪的此类疾病及时发现、尽早隔离,可有效避免群体传染和大量死亡,减少疫病传播产生的经济损失。

总之,对猪尤其是母猪行为的观察方法已由人工观察向电子测量、视频监测和声音监测方向发展,其中数字图像处理技术通过对猪姿态、轮廓数据的计算,辅以运动的行为参数,用于判定猪形体姿态和行为趋势,该方法实时、客观,但易受到养殖场光照条件、视角及遮挡影响。为了更加精细、定量地研究猪的特定行为及其体征,引入低成本、高性能的电子测量设备,监测行为的运动趋势来区分站立、躺卧,靠近或者远离,通过运动强度的强弱区分静止、小幅度运动和大幅度运动,以此计算运动量,应用于判定母猪的发情及分娩行为。如今,电子监测节点大致分为接触式和非接触式 2 种,接触式节点以较合理的方式固定到猪躯体上,获得更加精准的运动数据,行为种类的划分也更加细致。然而,在高温、高湿、高碰撞的养殖环境下,此类节点数据稳定性、电池续航尚需改进。声音作为行为的重要特征之一,其识别有助于辅助图像识别法和电子测量法进一步明确猪的生理状况,同时,声音作为家畜种群内交流的“语言”,母猪的哺乳叫声有助于构建仔猪的采食模式。由于声音分析对音频质量要求高,因此,降低圈养母猪叫声间的相互干扰及环境噪声的影响将是后续研究中需要解决的问题。

## 2 展望

综上,对于猪行为的研究,国内外动物学家和信息处理专家已经取得了相关的研究成果,但仍存在以下尚待解决的问题。

### 2.1 电子测量节点的设计问题

目前实际使用的行为数据采集节点受佩戴方式、碰撞打斗等因素干扰,数据出现偏移、抖动及噪声,需进一步改进数据校正和去噪算法实现对行为数据的预处理;且接触式节点需固定在猪身体上,不便对芯片及电池进行维护操作,因此,必须研制工业级、轻型、低功耗的传感器芯片以及微型、高容量的电池,确保电子测量节点长时间、稳定的使用。

### 2.2 环境因素对视频、音频监测的影响

仅从畜牧信息的无损监测角度而言,图像处理技术和声音分析技术以无接触方式记录猪的行为信息,对猪活动无任何影响。但是机器视觉技术受养殖场光照、摄像机视距等条件影响较大,且图像中栅栏阻挡的去除,粘连图像的分割,猪个体识别与跟踪,及视频图像的压缩、感知、传输等问题是后续研究的重点。声音分析对音频质量提出较高的要求,去除碰撞栅栏、食槽的环境噪声影响,有效降低群养母猪声音的相互干扰,并研究母猪某类发声的共性特征,是研究人员尚需解决的难题。

## 3 结语

本研究着重阐述了母猪发情、分娩、哺乳各阶段的行为特

性及其异常行为表现,结合其行为特点,归纳和分析了现有的智能监测方法,进一步提出对现有监测技术的改进建议,为养殖人员掌握猪的行为习性,发现异常表现提供更加便捷的工具,以提高猪的生产性能。

#### 参考文献:

- [1] Chen L D, Lim T T, Jin Y M, et al. Ventilation rate measurements at a mechanically – ventilated pig finishing quad barn [J]. Biosystems Engineering, 2014, 121 (18): 96 – 104.
- [2] Barbari M, Conti L. Use of different cooling systems by pregnant sows in experimental pen [J]. Biosystems Engineering, 2009, 103 (2): 239 – 244.
- [3] Bloemhof S, Waaij E H, Merks J W M, et al. Sow line differences in heat stress tolerance expressed in reproductive performance traits [J]. Journal of Animal Science, 2008, 86 (12): 3330 – 3337.
- [4] James K M, Blunden J, Rumsey I C, et al. Characterizing ammonia emissions from a commercial mechanically ventilated swine finishing facility and an anaerobic waste lagoon in North Carolina [J]. Atmospheric Pollution Research, 2012, 3 (3): 279 – 288.
- [5] Berckmans D. Precision livestock farming as a tool to improve the welfare and health of farm animals [C]. China, Chongqing: International Symposium on Animal Environment and Welfare, 2013: 206 – 214.
- [6] 朱增勇. 未来5年中国猪肉市场形势展望 [J]. 农业展望, 2014 (8): 18 – 21.
- [7] Marchant – Forde J N. The welfare of pigs [M]. Dordrecht, the Netherlands: Springer, 2009.
- [8] Altmann M. Interrelations of the sex cycle and the behavior of the sow [J]. Journal of Comparative Psychology, 1941, 31: 481 – 498.
- [9] 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.
- [10] Bressers H P M. Monitoring individual sows in group – housing: possibilities for automation [M]. Rapoport Instituut voor Veeteeltkundig Onderzoek ‘Schoonoord’, 1993.
- [11] Geers R, Janssens S, Spoorenberg S, et al. Automated oestrus detection of sows with sensors for body temperature and physical activity [C]. Japan, Kobe, : Proceedings of ARBIP95, 1995.
- [12] Serlet S. Optimalisatie van bronstdetectie bij zeugen [D]. 2004.
- [13] Cornou C, Lundbye – Christensen S. Classifying sows’ activity types from acceleration patterns: application of a multi – process Kalman filter [J]. Applied Animal Behaviour Science, 2008, 111: 262 – 273.
- [14] Naas I. Applications of mechatronics to animal production [C]. USA, Chicago: the Club of Bologna meeting, 2002.
- [15] Houwers H W J, Unshelm J, Putten G, et al. Locality registration as a way of heat detection in an integrated group housing system for pigs [C]. Sweden, Skara: Proceedings of the International Congress on Applied Ethology in Farm Animals, 1988: 44 – 50.
- [16] Korthals R L. The effectiveness of using electronic identification for the identification of estrus in swine [C]. Toronto, Canada: ASAE CSAE SCGR Annual International Meeting, 1999.
- [17] Blair R M, Nichols D A, Davis D L. Electronic animal identification for controlling feed delivery and detecting estrus in gilts and sows in outside pens [J]. Journal of Animal Science, 1994, 72 (4): 891 – 898.
- [18] Ostensen T, Cornou C, Kristensen A R. Detecting oestrus by monitoring sows’ visits to a boar [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 74 (1): 51 – 58.
- [19] Bressers H P M, Te – Brake J H A, Noordhuizen J P T M. Oestrus detection in group – housed sows by analysis of data on visits to the boar [J]. Applied Animal Behaviour Science, 1991, 31 (3/4): 183 – 193.
- [20] Cornou C, Vinther J, Kristensen A R. Automatic detection of oestrus and health disorders using data from electronic sow feeders [J]. Livestock Science, 2008, 118 (3): 262 – 271.
- [21] 刘龙申. 母猪行为体征实时监测系统关键技术研究及实现 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [22] 高娅俊, 李保明, 李明丽, 等. 舍温对母猪行为与仔猪保温箱利用率的影响 [J]. 农业工程学报, 2011, 27 (12): 191 – 194.
- [23] 顾招兵, 李明丽, 高娅俊, 等. 自由式分娩猪栏设计及应用效果 [J]. 农业工程学报, 2011, 27 (增刊2): 40 – 44.
- [24] Oliviero C, Pastell M, Heinonen M, et al. Using movement sensors to detect the onset of farrowing [J]. Biosystems Engineering, 2008, 100 (2): 281 – 285.
- [25] Cornou C, Lundbye – Christensen S. Modeling of sows diurnal activity pattern and detection of parturition using acceleration measurements [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 80 (1): 97 – 104.
- [26] 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): 191 – 196.
- [27] Labrecque S, Labrecque R, Labrecque G. Birth monitoring system for piglets; US, 2008/0266115 A1 [P]. 2008 – 10 – 30.
- [28] 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.
- [29] Rogerio G T, da Cunha. As good as it sounds: understanding piggyish [J]. Pig progress. 2006, 22 (8): 13 – 15.
- [30] Gill J C, Thomson W. Observations on the behaviour of suckling pigs [J]. The British Journal of Animal Behaviour, 1956, 4 (2): 46 – 51.
- [31] 崔卫国, 包军. 动物的行为福利与动物福利 [J]. 中国畜牧兽医, 2004, 31 (6): 3 – 5.
- [32] Bao J, Li X, Lü F L, et al. Prolonged latency of pupillary light reflex in confined sows: Possible stress – related symptom? [J]. Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research, 2013, 8 (6): 475 – 478.
- [33] Shao B, Xin H W. 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.
- [34] Kruse S, Traulsen I, Salau J, et al. A note on using wavelet analysis for disease detection in lactating sows [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 77 (1): 105 – 109.
- [35] 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.
- [36] 浦雪峰, 朱伟兴, 陆晨芳. 基于对称像素块识别的病猪行为监测系统 [J]. 计算机工程, 2009, 35 (21): 250 – 252.
- [37] 纪滨, 朱伟兴, 刘波, 等. 基于脊腹线波动的猪呼吸急促症状视频分析 [J]. 农业工程学报, 2011, 27 (1): 191 – 195.
- [38] 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.