

畜禽屠宰加工智能化装备及技术研究进展

Research progress of intelligent equipment and technology for livestock and poultry slaughter and processing

李 君^{1,2} 谢 斌^{1,2} 翟志强^{1,2} 张 鹏¹ 侯松涛^{1,2}

LI Jun^{1,2} XIE Bin^{1,2} ZHAI Zhi-qiang^{1,2} ZHANG Peng¹ HOU Song-tao^{1,2}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学现代农业装备优化设计北京市重点实验室, 北京 100083)

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Key Laboratory of Optimal Design of Modern Agricultural Equipment, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

摘要:从屠宰、分割和分级 3 个方面介绍了目前国内外主要的屠宰加工企业及其先进装备和智能化技术, 分析阐述了现有屠宰加工技术的研究现状与存在的问题, 并展望了智能化屠宰加工技术及装备的发展趋势。

关键词: 畜禽屠宰; 分割; 分级; 装备; 技术

Abstract: This review introduced the main slaughtering and processing enterprises, advanced equipment and intelligent technology at home and abroad. The research status and existing problems of existing technologies, were analyzed and expounded, and the development trend of slaughtering and processing intelligent technology and equipment were prospected.

Keywords: livestock and poultry slaughter; segmentation; classification; equipment; technology

中国是肉类生产和消费大国, 肉品总产量占世界总产量的 1/3 左右, 2019 年中国肉类总产量达 7.759×10^7 t^[1]。目前, 中国大型屠宰加工企业主要靠引进国外的装备进行生产, 成本高且受到技术制约; 中小型企业以半机械化加工方式为主^[2], 屠宰加工装备及智能化技术落后, 投入人力成本大, 且存在卫生安全问题。因此, 自主研究畜禽屠宰加工智能化技术, 开发智能化装备已成为中国畜禽屠宰及肉品加工业的迫切需要。文章拟介绍国内外畜禽屠宰加工相关企业, 结合国外龙头企业的现有装备和国内外的研究现状, 从屠宰、分割和分级 3 个方面概述国内外现有的部分智能化装备和技术, 为畜禽屠宰加工工业的智能化发展提供相关参考和研究信息。

基金项目: 国家重点研发计划(编号: 2018YFD0700800)

作者简介: 李君, 女, 中国农业大学在读硕士研究生。

通信作者: 谢斌(1973—), 男, 中国农业大学副教授, 博士。

Email: xiebincau@126.com

收稿日期: 2020-08-21

1 畜禽加工企业现状

目前, 国外技术和装备较先进的企业主要集中在丹麦、澳大利亚、荷兰、美国和德国等国家, 主要有德国的 Banss 公司, 荷兰的 Stork 公司和 Meyn 公司, 丹麦的 SFK 公司和 Frontmatec 公司, 奥地利的 Voran 公司, 美国的 Jarvis 公司, 冰岛的 Marel 公司等^[2]; 中国从事畜禽肉类加工的企业主要有查维斯机械制造(北京)有限公司、山东华誉机械设备有限公司、青岛建华食品机械制造有限公司、济宁兴隆食品机械制造有限公司、南京市宏伟屠宰机械制造有限公司、吉林省艾斯克机电股份有限公司等, 这些公司的主要研发范围见表 1。

2 畜禽屠宰智能化装备及技术

2.1 智能化致晕装备及技术

2.1.1 装备 目前致晕的方式主要有电击致晕、机械致晕、气体致晕和电磁力致晕^[3]。在禽类致晕方面较多采用水浴式电击晕, 该致晕方式是将家禽倒挂在有动力驱动的链条的金属挂钩上, 待其行进至水浴式电击位置时, 头部浸入电击晕机的正极水槽中(挂钩带负极电)而被击晕, 但这种致晕方式会使家禽胸肉中出现针状出血点, 且烹调时会变黑, 影响肉质^[4]。冰岛 Marel 公司的水浴电击晕机可实现交流电压的无级调速, 并且可根据活禽尺寸调整击晕机高度, 适合所有类型的家禽; 其中 PureSine 型水浴击晕机采用纯正正弦波电信号, 击晕过程较为顺畅, 并可在 50~1 500 Hz 无级变频, 实现击晕效率和肉质的平衡; Marel 公司在畜类致晕方面主要采用电击致晕和 CO₂ 致晕系统, 每小时可致晕 40~1 600 头猪不等^[5]。德国 Banss 公司用于猪致晕的设备有 Restrainer BRT-HH-T*、Restrainer BRT-2 和 Restrainer BRT-3, 三者均采用高频恒流致晕技术, 实现了输送机 and 致晕设备之间的同步, 且传动装置位于输送系统末端, 减少了运输部件的磨

表 1 各公司的主要研发范围
Table 1 The main R&D scope of each company

公司名称	主要技术及装备研发范围
Banss	畜类的致晕、放血、剥皮、分割和分级等装备及完整的屠宰和加工生产线
Frontmatec	畜类不洁线、清洁线与冷却室、初级分割、剔骨和修整、物流和包装的相关装备
Voran	畜类的屠宰加工装备及先进的运输线和灵活的机器人
Meyn	毛鸡接收部、宰杀部、掏膛部、预冷部、高速分割线和剔骨部完整的禽类解决方案
Marel	家禽加工、畜类加工、鱼类加工、深加工等相关屠宰加工装备和 Innova 食品加工系统,可以建立与每一个生产工艺之间的联系,实现生产控制和实时控制
Jarvis	肉类和禽类加工装备,包含肉类分割、去骨、劈半、开腹、掏膛等畜禽屠宰分割装备
济宁兴隆食品机械制造有限公司	畜禽加工技术和设备的研究设计、制造安装、售后服务
山东华誉机械设备有限公司	肉类解冻、分割机械研发、设计、生产制造、销售及贸易
青岛建华食品机械制造有限公司	专业生产猪、牛、羊整套屠宰生产线企业
南京市宏伟屠宰机械制造有限公司	制造猪、牛、羊及家禽等禽畜成套屠宰、分割设备及配套设备

损并避免了人员伤害,其中 Restrainer BRT-3 每小时最高可致晕 650 头猪;Banss 公司的 SOMNIA 型 CO₂致晕系统综合了欧共体现行的动物福利标准和工业致晕对肉质的要求,在模块化设计中采用灵活的系统配置,且处理系统能够对不同大小的群体进行致晕,每小时可致晕 1 200 头猪^[6]。丹麦 Frontmatec 公司的 20509920 型致晕箱由配有液压控制的后门、推杆、地板升降器、头部固定装置和侧门组成,液压控制的升降门确保一次只能有一只动物进入致晕箱,头部固定机构可根据动物大小进行调节,用来牢固地固定头部和颈部,动物进入致晕箱后被推杆和头部固定机构固定动物进行致晕,致晕后推杆后移,头部固定装置解除固定,侧门打开,地板倾斜,动物自动出箱,该致晕箱每小时可致晕 100 头小牛或 80 头牛^[7];Frontmatec 公司 CO₂致晕系统配备全自动赶猪通道,赶猪区域噪声低,提高了动物福利,猪肉品质更高,每小时可驱赶 145~1 400 头猪不等^[8]。

2.1.2 技术 目前国内外在致晕方面的研究集中在提高动物福利和减少肉质影响两个方面。Terlouw 等^[9]认为在屠宰过程中快速诱导昏迷和死亡,同时避免压力和疼痛,是动物保护两个主要目标;Llonch 等^[10]研究了电流低于 1.0 A 时对羔羊和山羊的电击效果,发现 0.3,0.5,0.7 A 的电流诱发的有效致晕效果与电流在 1.0 A 时相似;Gerritzen 等^[11]对肉鸡进行了多阶段 CO₂致晕试验,发现与将肉鸡直接置于高浓度 CO₂中致晕相比,CO₂浓度从 40%左右分阶段逐步增加到高浓度的致晕方式会减少肉鸡的痛苦,提高动物福利;张欣等^[12]研究了屠宰前不同 CO₂浓度的混合气体致晕对肉鹅肝脏品质的影响,发现 40% CO₂混合气体(40% CO₂+21% O₂+39% N₂)致晕的肝脏品质较好,79% CO₂混合气体(79% CO₂+21% O₂)致晕的肝脏脂质氧化程度最低。

2.2 智能化掏膛装备及技术

2.2.1 装备 目前,冰岛 Marel 公司的 Nuova CoreTech 核心掏膛机通过精确定位每只家禽,无需调整即可准确掏膛,每台掏膛机带 16 或 20 个掏膛处理装置,通过一次性自动化操作完整地掏出包括心脏、肺脏、肝脏、禽胗和肠子在内的整副内脏包,并将其悬挂在背部^[13]。荷兰 Meyn 公司的新式掏膛机搭配全自动内脏在线分拣系统,掏膛机采用掏膛夹式结构将内脏包输送至内脏夹,内脏夹夹持内脏包通过兽医检验平台经肠胆自动分离机去除肠,经肝脏摘取机将鸡肝完整摘取,再经过心肺分离机和腺胃切割机进行鸡心和鸡胗的分离和切割,完成全自动在线分拣内脏的整道工序^[14]。

2.2.2 技术 家禽掏膛主要有夹取式、挖取式和扒取式 3 种方式,规模化生产通常采用自动取内脏联合作业系统和人工辅助流水线生产两种方式。中国主要在机器视觉、柔性掏膛和机械手结构及运动设计优化几个方面进行相关研究。陈艳^[15]利用机器视觉技术对家禽胴体和内脏整体图像进行分割,对鸡心和鸡肝等可食用内脏器官进行图像分割、体内位置预测、特征提取和离体识别,构建了家禽机械手掏膛系统并进行试验研究,研究技术和方法为智能化掏膛提供了技术支持;陶凯等^[16-17]利用机器视觉定位技术设计了一种家禽屠宰净膛系统,试验表明,内脏平均破损率为 23%,平均残留率为 7.63%;熊利荣等^[18-19]用压力传感器作为触觉感知系统检测机械手对家禽内脏的压力,实时调整机械手的净膛力度,有效降低了内脏破损率,提高了掏膛的自动化程度;马朋巍^[20]设计确定了扒取式家禽取内脏机械手的前端结构、运动轨迹和控制轨迹,给家禽取内脏机械手的开发提供了技术基础;王猛^[21]对夹取式家禽自动掏膛机械手结构和运动参数进行了研究,设计了夹取式自动掏膛机械手和参数可调的取内脏实验台,并通过正交试验确定了机械手最

优运动参数;王道路等^[22-23]设计了夹取式肉鸭掏膛机械手,由 24 组夹取式掏膛机械手组成的掏膛机最高理论产量可达 5 000 只/h,还对 QNZ15 型掏膛机的凸轮从动件等进行协调性设计、曲线修正与优化等方面的改进,改进后的平均内脏器官数量完整度为 94.5%,内脏器官形态完整度为 91.06%。

整体而言,在畜禽致晕方面,国内外以电击致晕和 CO₂致晕为主,电击致晕的研究主要围绕确定合适的致晕电流、电压等参数,CO₂致晕的研究主要是针对不同的畜禽种类确定不同的 CO₂浓度,以期在提高动物福利和致晕效率的基础上,进一步改善肉质,寻求动物福利、致晕效率和肉质之间的平衡;禽类掏膛技术的研究应在保证掏膛速度的同时,利用现有先进技术进一步降低内脏器官的破损率。

3 畜禽分割智能化装备及技术

3.1 国外

3.1.1 分割装备 目前,国外的畜禽分割技术已经较为成熟,尤其是在禽类分割方面。其中,冰岛 Marel 公司在禽类胴体分割方面主要装备性能参数见表 2。在牛羊胴体分割方面,冰岛 Marel 公司的 Marel StreamLine 剔骨和切割智能化系统,可监控、分析和最大化分割剔骨车间产量,剔骨设备的最低产能为 10 头/h 左右^[27]。

丹麦 Frontmatec 公司引入自动化垂直羊肉初级分割设备,用以将胴体分割成羊肩、中段和羊腿(羊臀),系统可自动调整刀具高度进行羊腿(羊臀)的切割,分割速度可达到 300~400 只/h^[28]。该公司还研发了一系列手动、半自动和全自动原始初级分割设备用于分割羊肉,针对猪肉加工有 AiRA 机器人系列产品,包括开耻骨机器人、开胸腹机器人、剪头机器人、劈半机器人等,部分分割设备及性能见表 3。

3.1.2 分割技术 国外早期在切割刀具和切割方式方面的研究较多,Claudon 等^[32]研究了刀具锋利度以及切割角度对分割胴体上肢的影响;还有学者^[33]提出利用高压水枪切割和气枪清洗的方式,保证了胴体切割的精度和干净。近年来在畜禽分割方面的研究主要集中在综合机器视觉、图像信息、激光扫描等技术,利用机器人进行分割,丹麦 Attec 公司综合 X 射线断层技术和机器人技术可将猪胴体分割成前、中、后 3 段;美国乔治亚州研究院的 GTRI 机器人经外部测量可精确匹配鸡胴体的内部结构,且机器人具有 3D 意识,可对不同形态、规格的鸡胴体规划切割路径并进行精准切割^[34]。

3.2 中国

3.2.1 分割装备 在分割设备方面,济宁兴隆食品机械制造有限公司在 2011 年研发出中国第一台猪体自动劈半机 TZ-ZPB160,其应用双刀劈切技术代替锯割劈半方法,填补了中国猪胴体自动劈半技术的空白^[35];王树才^[36]设计了一种家畜胴体多点夹紧分割装置,可分割具有一定体态差异的家畜胴体;谢斌^[37]设计了一种家畜胴体去腿装置,采用持刀机器人分割四肢,具有分割精准快速,肉质损耗少的特点;张德权等^[38-39]设计了一种羊胴体机器人自主分割方法及系统,通过采集羊胴体的深度图像和骨骼图像拟合出立体图像模型,获取初始分割轨迹后模拟分割立体图像模型并结合模拟分割后的产品等级对初始分割轨迹进行调整,最后输出最优的分割轨迹并控制分割机器人按该轨迹分割羊胴体;还设计了一种羊胴体计算机视觉辅助分割系统,包括标准化分级分割数据库,羊胴体信息数据库及信息录入、调取、查询和匹配等诸多模块,结合数据库信息,实现了标准化分割,分割准确率达到 95%;陈军委^[40]设计了一种羊胴体分割设备,包括夹持装置、吊装架、扫描装置、机械臂自动切割系

表 2 冰岛 Marel 公司禽类胴体分割装备

Table 2 Poultry carcass cutting equipment of Marel company in Iceland

名称	性能
琵琶腿切割模块 ^[24]	能够独立处理左腿和右腿,易于调整,切割精确,具有较高的性能
胸脯对半切割模块 NT ^[25]	可以切割出无脊柱的整块胸脯,或分切出带脊柱或无脊柱的胸脯切块
前/后半胴体切割模块 NT ^[25]	增加了倾斜度,能够保留更长的后半胴体
ACM-NT 翅尖切割机 WingTipper HP ^[26]	可以切割超过 99%的翅尖和处理破损及脱白的翅膀

表 3 丹麦 Frontmatec 公司畜类胴体分割装备

Table 3 Animal carcass cutting equipment of Frontmatec company in Denmark

名称	性能
手动分割设备 ^[29]	圆形切刀,分割利落,其中圆形切刀是目前采用较为广泛的切割刀具
自动初级分割线 ^[30]	每小时切割 100~1 500 头猪,适用于长度偏差较大的胴体加工
AGOL-800/1100 自动初级分割线 ^[30]	各猪胴体能精确地单独切割
AiRA RPS-H 劈半斧机器人 ^[31]	融合图像信息和机器人控制等技术,每小时可以分割 450 头猪

统等,通过机械臂持刀对羊胴体进行分割保证了分割质量,实现了自动化分割并降低了人工成本。

3.2.2 分割技术 目前中国主要利用机器视觉和机器人技术进行分割。杨华^[41]进行了禽类胴体分割 3P_2R 混联机器人运动学研究,通过机器视觉和机器人技术,结合采集的图像信息驱动机器人持刀运动,完成禽胴体的自动分割;孙鑫^[42]进行了猪胴体分割的 6-DOF 混联机器人运动学分析与轨迹规划,综合采集的图像信息和猪肉胴体分割工艺,控制机器人末端刀具的六自由度运动,实现猪肉胴体的精确分割;杜宇^[43]设计了一种猪腹剖切机器人系统,可在屠宰生产线上进行猪胴体劈开耻骨、剖切猪腹操作,实现猪腹剖切自动化;王鹤^[44]设计的机器人系统能够顺利劈开耻骨和猪腹,并且不会对内脏造成损伤,工艺性和实用性较强;Cong 等^[45]基于双目视觉建立了猪腹部切割机器人系统,用于引导机器人完成腹部切割操作,效果较为理想。此外,Liu 等^[46]对机器人腹部剖切的轨迹规划进行研究,将从图像中识别到的猪腹部曲线拟合为五次样条曲线,在腹膜腔不被破坏的约束下,通过对比几种优化算法,提出了基于遗传算法的最优截面轨迹规划方法。

目前,国内外关于猪胴体剖腹和劈半的研究较多,劈半锯和劈半机器人技术已经较为成熟;关于禽类分割的装备和技术也较为成熟,并且分割效率和分割后的肉质较好;但关于牛羊分割的研究还不成熟,研究技术也没有很好地应用于实际生产,因此应增加有关牛羊胴体分割的技术和装备的研究。分割技术的研究应朝着融合多种技术的机器人智能化分割逐步深入,利用机器视觉和机器人技术等先进技术,通过图像、切割工艺和运动规划多种信息,控制末端持刀切割胴体;并应增强研究院所和屠宰加工企业之间的联系与合作,进一步提高研究技术的实用性,促进中国发分割技术和装备的协同快速发展。

4 畜禽分级智能化装备及技术

4.1 国外

4.1.1 分级装备 目前,丹麦 Frontmatec 公司的 pH * K21 可准确快速地在在线测定猪、羊、牛肉中的 pH 值^[47];NitFomTM将碘值和单分子脂肪酸等脂肪肉质性状的分析直接引入刺杀车间,可以对碘值和脂肪酸进行实时分级,生产线速度可达到 1 350 头胴体/h,并且保证了极高的精度^[48]。冰岛 Marel 公司的 SmartWeigher 智能称重机将重量信息与基于自动视觉技术的质量评估进行结合,每个整只产品都会被加上带有质量信息的“标记”(在后续工序中使用),以便根据规格确定产品的最优分配;IRIS 自动质量分级系统,通过称重及影像技术可以在最高的加工速度下对产品进行分级,并将所有组织部位正确分配到分割线^[49]。冰岛 Marel 公司还有定制式分级机、SensorX SmartSort 和 SmartLine 分级机等一系列分级

(配重)系统,可自动分选或配合人工进行分级分选,设备可独立工作也可并入完整包装线,实现高速准确地对禽类胴体产品进行分级^[50]。

4.1.2 分级技术 国外在畜禽分级技术方面的研究较为深入,研究方法比较多样化,Barbin 等^[51-52]对猪肉样品进行近红外高光谱图像采集,从猪腰眼区域提取光谱信息,采用数学预处理方法,研究光谱变化对猪肉品质性状预测的影响,并提出了一种基于主成分分析待测样本分数图像生成待测样本分类图的算法,结果表明高光谱成像技术可以快速评价猪肉品质,在对不同等级猪肉进行无损分类方面具有较大潜力;Elmasry 等^[53]利用近红外区高光谱成像系统非接触测量新鲜牛肉表面颜色、pH 值和嫩度,结果表明用高光谱成像技术来代替传统的色度计、标准 pH 电极和通用试验机分别测量颜色、pH 值和嫩度是可行的;Andersen 等^[54]应用拉曼光谱、近红外光谱和荧光光谱预测猪腰长肌肉质,研究证实拉曼光谱提供的信息适用于分析复杂的生物系统;Kipper 等^[55]对双能 X 射线吸收(DXA)设备进行不同的软件设置,以评估猪胴体及其粗切割的解剖组织成分,试验表明 DXA 是一种有效的胴体评估工具;Taheri-Garavand 等^[56]总结了计算机视觉在鱼类、畜类和禽类的肉质评价方面的研究进展,发现机器视觉凭借计算机技术和高速处理算法,未来会成为食品质量检测的必要手段,并且在手机上使用;Brethour^[57]研究发现在饲养牛期间,利用超声检测技术估计背膘厚和大理石纹进行胴体品质预测是可行的。

4.2 中国

4.2.1 分级装备 近几年,中国在分级装备方面的研究也日益深入,闫忠心^[58]设计了肉类智能分级系统用于解决现有人工肉类分级检测方式中误差大、效率低的问题;贾渊^[59]设计了一种基于图像处理的猪肉外在品质在线分级装置,可应用于屠宰行业或是食品检验部门,实现在线检测以及与后续工段连接;陈林^[60]设计了一种近红外在线肉品分级自动检测装置,能够实时采集肉品光谱信息并转换为肉类指标,再与肉类品质分级数据库进行分级匹配后输出肉类等级;郭楠等^[61]开发了一套气动式羊胴体自动分级系统,可在线将羊胴体自动分成 4~8 个等级,实现每班生产 1 000~2 000 只肉羊。

4.2.2 分级技术 中国在畜禽分级方面的研究主要集中在计算机视觉、近红外光谱等技术。韩宏宇^[62]结合采集的生产线环境下的猪胴体图片,构建了二进制格式的猪胴体图像数据集,设计了基于 AlexNet 的猪胴体图像分级模型 CNN-P,对猪胴体图像等级的识别效果可以达到 92.7%;吴贵茹^[63]通过工业摄像机采集牛胴体眼肌切面图像,利用色差法对有效眼肌区域进行分割和信息提取,建立了预测胴体产肉量的回归模型,在胴体四分体时就可预测出胴体产肉量并对胴体产肉量等级进行评定;伍

学千等^[64-65]构建了猪品质等级的计算机视觉检测硬件系统和肉品质等级评定软件系统,并提出了一种改进的分水岭算法用来去除背最长肌与周围肌肉组织之间的粘连;李明静^[66]建立了一套牛肉胴体等级的计算机视觉检测系统,利用机器视觉技术检测牛肉大理石花纹来评判牛肉胴体质量等级,准确率为 84.9%;刘晓晔^[67]利用便携式红外光谱仪进行普通公牛肉与淘汰母牛肉鉴别、牛肉品质参数定量以及嫩度在线分级的研究,建立了相应的数学模型,结果表明近红外光谱技术能够进行肉质鉴别;谢新月^[68]基于光谱特性提出了小波变换与人工神经网络相结合的方法用于识别肉品种类及新鲜度,并验证了方法的有效性;姜新华等^[69]提出一种稀疏核典型相关分析方法和多指标光谱特征提取方法,并验证了高光谱成像与多指标的快速检测羊肉新鲜度的可行性;陈丽^[70]利用近红外光谱分析进行羊胴体分级,建立了羊胴体分级评定方法,通过试验建立了肌肉颜色标准板、脂肪颜色标准板和大理石花纹标准板,并在此基础上建立了羊肉质量分级图示。赵杰文等^[71-72]利用嗅觉可视化技术对猪肉的新鲜度进行了检测和等级评判,为猪肉新鲜度无损检测提供了一种新方法;Nassy 等^[73]利用 X 射线断层扫描技术,检测胴体瘦肉、肥肉和骨 3 个主要组分,用来虚拟分割胴体以进行分级,进一步提高了猪肉品质评估的精度。

综上所述,国外的畜禽胴体分割分级技术历史悠久,主要是利用近红外高光谱成像、计算机视觉、拉曼光谱、计算机断层扫描和超声波检测等技术,这些技术都可以进行肉质检测、分类或分级,但是部分技术会对肉品造成一定程度的损坏,或者无法在准确率和成本之间达到平衡。中国的肉质分级(分类)技术在近几十年也得到了飞速发展,虽然不及国外的技术和设备先进,但也有较大的进步,目前主要是利用机器视觉技术和红外光谱等技术对肉类进行质量检测、分类和分级等,部分新技术也在研究中,但是也仅限于试验研究,并没有将研究技术应用到实际生产中。整体来看,未来关于肉质检测、分类或分级的研究可以将多种技术融合,取长补短,尽可能在无损肉质和保证成本的基础上,提高准确性及速度,并将研究成果转化为实际装备投入生产使用。

5 总结与展望

5.1 总结

(1) 目前国内外在研究畜禽致晕方面主要以电击致晕和 CO₂致晕为主,现有致晕方式产生的致晕效果能够满足屠宰过程的基本要求,但会对畜禽的部分器官或肉质等在一定程度上造成损害,或者无法较好地保证动物福利;在掏膛方面主要是结合机器视觉技术或压力传感器,利用机械手进行柔性掏膛,但是也会存在内脏损伤和残留,这也是目前掏膛技术亟需攻克的一个难关。

(2) 在畜禽肉类分割方面,应用较为广泛是半劈锯或

者带有圆形切刀的分割设备,这类设备一般与人工配合使用;研究较多的是通过机器视觉(计算机视觉)进行图像采集和分割,依据切割工艺,规划出分割的运动轨迹,然后控制末端带有分割刀具的机器人进行分割。机器人分割融合了多种技术,智能化程度较高,大量减少人工参与,但机器人柔性切割的水平 and 切割的准确性有待提高。

(3) 在畜禽肉分级方面,主要有计算机视觉、近红外红光谱成像、计算机断层扫描和超声波检测等技术,用于检测肉质的各种评价指标(新鲜度、含水量、脂肪含量等),进行肉质评价、分类或分级,但现有技术都存在一些弊端,如对肉质产生一定的损伤,效率不高或者无法在检测成本和准确度之间达到平衡等。

5.2 展望

随着计算机技术和机器人技术等先进技术的进步,现存的问题会得到进一步解决,未来畜禽屠宰加工业向着智能化飞速发展,主要体现在智能化技术提升、智能化装备升级、屠宰加工一体化生产线和在线监测系统。智能化技术提升主要包括单一技术提升和多技术融合,通过改进现有研究技术硬件和软件存在的问题进行技术升级,通过多种技术相互配合,取长补短,进行智能化技术提升。智能化装备升级主要包括将现有的部分智能化技术应用到原有设备上使之更加智能化,以及将智能化技术落地并转化成可以用于实际生产加工的装备,让技术真正为生产服务,促进屠宰加工装备的智能化升级。屠宰加工一体化生产线和在线监测系统将屠宰加工的各个过程衔接起来,建立各个过程之间的联系,做到生产加工的连续可控,并通过完善的在线监测系统,实现从待宰到售卖每一个过程可追溯,确保肉类食品的卫生安全。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 年度数据[DB/OL]. [2020-08-10]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A0D0P&sj=2019>.
- [2] 杨璐, 刘佳琦, 周海波, 等. 面向畜禽加工的智能化装备与技术研究现状和发展趋势[J]. 农业工程, 2019, 9(7): 42-55.
- [3] 董雪艳, 葛琳琳, 吴昊. 浅谈畜禽屠宰方法现状[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2016, 32(2): 31-32.
- [4] 张奎彪, 贾自力. 家禽多段致昏屠宰方法[J]. 食品安全导刊, 2012(增刊 1): 74-75.
- [5] Marel. Stunning solutions and products[EB/OL]. [2020-08-20]. http://wechat.marel.cn/product_category/击晕.
- [6] Banss. Stunning equipment and technology[EB/OL]. [2020-08-20]. <https://banss.de/en/pig/#stunning>.
- [7] Frontmatec. Traditional-stunning-box-cattle-calves[EB/OL]. [2020-08-20]. <https://www.frontmatec.com/cn/beef-solutions/unclean-line/stunning/traditional-stunning-box-cattle-calves>.

- [8] Frontmatec. Carbon dioxide stunning system [EB/OL]. [2020-08-20]. <https://www.frontmatec.com/media/3935/frontmatec-co2-窒晕系统.pdf>.
- [9] TERLOUW Claudia, BOURGUE Cécile, DEISS Véronique. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter Part I: Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing[J]. Meat Science, 2016, 118: 133-146.
- [10] LLONCH P, RODRÍGUEZ P, CASAL N, et al. Electrical stunning effectiveness with current levels lower than 1A in lambs and kid goats[J]. Research in Veterinary Science, 2015, 98: 154-161.
- [11] GERRITZEN M A, REIMERT H G M, HINDLE V A, et al. Multistage carbon dioxide gas stunning of broilers[J]. Poultry Science, 2013, 92(1): 41-50.
- [12] 张欣, 罗招运, 胥蕾, 等. 屠宰前不同二氧化碳浓度的混合气体致晕对肉鹅肝脏颜色、脂质氧化及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(4): 1 637-1 644.
- [13] Marel. Nuova CoreTech[EB/OL]. [2020-08-20]. <http://marcel.cn/行业/家禽加工/肉鸡加工/掏膛/掏膛>.
- [14] Meyn. Evisceration[EB/OL]. [2020-08-20]. <http://www.meyn-cn.com/html/1/62/178/350.html>.
- [15] 陈艳. 基于机器视觉的家禽机械手掏膛及可食用内脏分拣技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018: 140-142.
- [16] 陶凯. 基于机器视觉的家禽屠宰净膛系统的设计与试验[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018: 59.
- [17] 王树才, 陶凯, 李航. 基于机器视觉定位的家禽屠宰净膛系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 335-343.
- [18] 熊利荣, 于阳, 王树才. 带有触觉系统的家禽屠宰净膛机械手的设计[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(6): 142-146.
- [19] 于阳. 家禽屠宰净膛智能机械手触觉系统的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 35-39.
- [20] 马朋巍. 抓取式家禽取内脏机械手结构及运动参数研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2010: 8-25.
- [21] 王猛. 夹取式家禽自动掏膛机械手结构和运动参数的研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2014: 10-57.
- [22] 王道路. 夹取式肉鸭掏膛机械手的设计研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2017: 56.
- [23] 王道路, 叶金鹏, 丁有河, 等. 肉鸭掏膛机改进设计与仿真分析及试验[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 93-100.
- [24] Marel. Leg processing[EB/OL]. [2020-08-20]. http://wechat.marel.cn/product_category/腿部加工.
- [25] Marel. Processing of the front half of the breast[EB/OL]. [2020-08-20]. http://wechat.marel.cn/product_category/胸脯前半部加工.
- [26] Marel. Wing processing[EB/OL]. [2020-08-20]. http://wechat.marel.cn/product_category/翅膀加工.
- [27] Marel. Industry Manual-Beef processing[EB/OL]. [2020-08-20]. http://wechat.marel.cn/industry/meat/?utm_source=wechat&utm_medium=referral&utm_campaign.
- [28] Frontmatec. Automatic-hanging-primal-cutting [EB/OL]. [2020-08-20]. <https://www.frontmatec.com/cn/lamb-solutions/primal-cutting/automatic-primal-cutting/automatic-hanging-primal-cutting>.
- [29] Frontmatec. Manual-primal-cutting [EB/OL]. [2020-08-20]. <https://www.frontmatec.com/cn/lamb-solutions/primal-cutting/primal-cutting/manual-primal-cutting>.
- [30] Frontmatec. Automatic-primal-cutting[EB/OL]. [2020-08-20]. <https://www.frontmatec.com/cn/pork-solutions/primal-cutting/automatic-primal-cutting>.
- [31] Frontmatec. Aira-robots[EB/OL]. [2020-08-20]. <https://www.frontmatec.com/cn/pork-solutions/clean-line-chill-room/aira-robots>.
- [32] CLAUDON L, MARSOT J. Effect of knife sharpness on upper limb biomechanical stresses: A laboratory study[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2006, 36(3): 239-246.
- [33] 丛明, 王冠雄, PETER Xu. 屠宰机器人的研究现状与发展[J]. 机器人技术与应用, 2013(1): 18-23.
- [34] 郭楠, 叶金鹏, 王子戡, 等. 畜禽肉品分割加工智能化发展现状及趋势[J]. 肉类工业, 2020(2): 37-41.
- [35] 任涛, 李伟, 徐开春, 等. 猪体自动劈半机的研发[J]. 肉类工业, 2017(9): 49-56.
- [36] 王树才. 一种家畜胴体多点夹紧分割装置: 201811585214.4[P]. 2019-02-19.
- [37] 谢斌. 一种家畜胴体去腿装置: 201911376121.5[P]. 2020-05-05.
- [38] 张德权. 羊胴体机器人自主分割方法及系统: 202010074636.6[P]. 2020-06-19.
- [39] 张德权. 羊胴体计算机视觉辅助分割系统及其分割装置: 201610847356.8[P]. 2017-03-01.
- [40] 陈军委. 一种羊胴体分割设备: 201921058610.1[P]. 2020-06-16.
- [41] 杨华. 禽类胴体分割 3P-2R 混联机器人运动学研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2016: 46.
- [42] 孙鑫. 面向猪肉胴体分割的 6-DOF 混联机器人运动学分析与轨迹规划[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2017: 63.
- [43] 杜宇. 一种猪腹剖切机器人系统: 201921104153.5[P]. 2020-05-19.
- [44] 王鹤. 一种猪腹剖切机器人系统的设计与实现[D]. 大连: 大连理工大学, 2019: 54-67.
- [45] CONG Ming, WANG He, REN Xiang, et al. Design of Porcine abdomen cutting robot system based on binocular vision [C]//2019 14th International Conference on Computer Science & Education. New York: IEEE, 2019: 188-193.
- [46] LIU Yi, CONG Ming, ZHENG Hua-dong, et al. Porcine automation: Robotic abdomen cutting trajectory planning using machine vision techniques based on global optimization algorithm[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 143: 193-200.

- [47] Frontmtec. PH-K21 [EB/OL]. [2020-08-20]. <https://www.frontmtec.com/cn/other/instruments/quality-control/ph-k21>.
- [48] Frontmtec. NitForm [EB/OL]. [2020-08-20]. <https://www.frontmtec.com/cn/other/instruments/carcass-grading-traceability/nitfom>.
- [49] Marel. Overhead classification and sorting [EB/OL]. [2020-08-20]. http://wechat.marel.cn/product_category/高架分级和分选.
- [50] Marel. Classifier [EB/OL]. [2020-08-20]. http://wechat.marel.cn/product_category/分级机.
- [51] BARBIN Douglas F, ELMASRY Gamal, SUN Da-wen, et al. Predicting quality and sensory attributes of pork using near-infrared hyperspectral imaging[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2012, 719: 30-42.
- [52] BARBIN Douglas F, ELMASRY Gamal, SUN Da-wen, et al. Near-infrared hyperspectral imaging for grading and classification of pork[J]. *Meat Science*, 2012, 90(1): 183-195.
- [53] ELMASRY Gamal, SUN Da-wen, ALLEN Paul. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 110(1): 127-140.
- [54] ANDERSEN Petter Vejle, WOLD Jens Petter, GJERLAUG-ENGER Eli, et al. Predicting post-mortem meat quality in porcine longissimus lumborum using Raman, near infrared and fluorescence spectroscopy[J]. *Meat Science*, 2018, 145: 94-100.
- [55] KIPPER M, MARCOUX M, ANDRETTA I, et al. Assessing the accuracy of measurements obtained by dual-energy X-ray absorptiometry on pig carcasses and primal cuts[J]. *Meat Science*, 2019, 148: 79-87.
- [56] TAHERI-GARAVAND Amin, FATAHI Soodabeh, OMID Mahmoud, et al. Meat quality evaluation based on computer vision technique: A review[J]. *Meat Science*, 2019, 156: 183-195.
- [57] BRETHOUR J R. Using serial ultrasound measures to generate models of marbling and backfat thickness changes in feedlot cattle[J]. *Journal of animal science*, 2000, 78(8): 2 055-2 061.
- [58] 闫忠心. 肉类智能分级系统: 201821625619.1[P]. 2019-11-19.
- [59] 贾渊. 一种基于图像处理的猪肉外在品质在线分级装置: 201020524094.X[P]. 2011-03-30.
- [60] 陈林. 近红外在线肉品分级自动检测装置: 201020193726.9[P]. 2010-12-22.
- [61] 郭楠, 王丽红, 丁有河, 等. 气动式羊胴体自动分级系统开发[J]. *肉类工业*, 2017(11): 49-51.
- [62] 韩宏宇. 基于深度学习的猪胴体图像分级系统设计与实现[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2018: 44.
- [63] 吴贵茹. 基于计算机视觉的牛肉产量自动分级技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 60-61.
- [64] 伍学千. 基于计算机视觉技术的猪肉品质检测与分级研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010: 77-78.
- [65] 伍学千, 廖宜涛, 樊玉霞, 等. 基于 KFCM 和改进分水岭算法的猪肉背最长肌分割技术[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(1): 172-176.
- [66] 李明静. 计算机视觉在牛肉大理石花纹自动分级中的应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007: 41.
- [67] 刘晓晔. 基于近红外光谱技术的牛肉在线分级及分类初探[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012: 45.
- [68] 谢新月. 基于光谱特性肉品种类及新鲜度识别方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 51.
- [69] 姜新华, 薛河儒, 郜晓晶, 等. 高光谱图像与稀疏核典型相关分析冷鲜肉新鲜度无损检测[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(8): 2 498-2 504.
- [70] 陈丽. 羊胴体分级模型与分级评定技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011: 50-51.
- [71] 赵杰文, 黄晓玮, 邹小波, 等. 基于嗅觉可视化技术的猪肉新鲜度检测[J]. *食品科学技术学报*, 2013, 31(1): 9-13.
- [72] 黄星奕, 周芳, 蒋飞燕. 基于嗅觉可视化技术的猪肉新鲜度等级评判[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(5): 142-145, 124.
- [73] NASSY Gilles, 黄亚宇, 孟庆翔. 控制猪肉品质的新型感应器: 用于屠宰和加工阶段测定猪胴体组分和评估猪肉品质[J]. *肉类研究*, 2015, 29(2): 21-24.

(上接第 206 页)

- [49] HWANG H J, RYU M Y, PARK C Y, et al. High sensitive and selective electrochemical biosensor: Label-free detection of human norovirus using affinity peptide as molecular binder[J]. *Biosens Bioelectron*, 2017, 87: 164-170.
- [50] HELMERHORST E, CHANDLER D J, NUSSIO M, et al. Real-time and label-free bio-sensing of molecular interactions by surface plasmon resonance: A laboratory medicine perspective[J]. *Clin Biochem Rev*, 2012, 33(4): 161-173.
- [51] ZHAO Zhou, ZHANG Jie, XU Mei-ling, et al. A rapidly new-typed detection of norovirus based on F0F1-ATPase molecular motor biosensor[J]. *Biotechnol Bioproc E*, 2016, 21(1): 128-133.
- [52] ADEGOKE O, SEO M W, KATO T, et al. An ultrasensitive SiO₂-encapsulated alloyed CdZnSeS quantum dot-molecular beacon nanobiosensor for norovirus[J]. *Biosens Bioelectron*, 2016, 86: 135-142.
- [53] ESCUDERO-ABARCA B I, RAWSTHORNE H, GOULTER R M, et al. Molecular methods used to estimate thermal inactivation of a prototype human norovirus: More heat resistant than previously believed? [J]. *Food Microbiol*, 2014, 41: 91-95.