木质鸡胸肉生肉品质表征及检测方法研究

孙 啸^{1*}, 谢葛亮¹, 束婧婷², 刘一帆², Casey M. Owens³, 陈坤杰⁴

(1. 滁州学院, 生物与食品工程学院, 滁州 239000; 2. 江苏省家禽科学研究所, 江苏省家禽遗传育种重点实验室, 扬州 225125; 3. 阿肯色大学家禽科学学院, 美国阿肯色 72701; 4. 南京农业大学工学院, 南京 210031)

摘要:目的 探索木质肉(woody/wooden breast, WB)生肉品质特性差异及客观检测方法。方法 对不同木质 鸡胸肉等级样本的重量、挤压力(CF Probe、CF TA-25)进行检测,同时在剪切实验中以剪切力(MORSF)、剪切 做功(MORSE)及剪切峰值个数(PC-MORS)作为生肉质构分析指标。结果 重量、CF Probe、CF TA-25、MORSF、MORSE、PC-MORS 随着 WB 等级的递增而显著增大,2 种硬度检测探头均可用于鸡胸肉的硬度检测。 PC-MORS在MORSF和MORSE的基础上可有效区分WB等级,同时可显示鸡胸肉肌肉内部的层状结构信息。 各测量指标之间存在不同程度的相关性,其中重量、CF Probe、MORSE、PC-MORS 与 WB 等级之间存在极显著相关。建立的 BP 神经网络模型区分正常肉和木质肉的总体识别率达 90.6%。结论 本研究确定了木质 鸡胸肉生肉硬度检测方法、质构分析的特征参数,并研究其木质化等级判定模型,研究结果可为后续木质鸡胸 肉在线检测分级装置的研发提供一定的理论支撑。

关键词:木质肉;生肉肉质;挤压力;剪切指标;BP神经网络;分级

Quality characterization and detection methods on raw breast fillets with woody breast condition

SUN Xiao^{1*}, XIE Ge-Liang¹, SHU Jing-Ting², LIU Yi-Fan², Casey M. Owens³, CHEN Kun-Jie⁴

(1. School of Biological Science and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China; 2. Key Laboratory

for Poultry Genetics and Breeding of Jiangsu Province, Jiangsu Institute of Poultry Science, Yangzhou 225125, China; 3. Poultry Science Department, University of Arkansas, Fayetteville 72701, USA; 4. College of Engineering,

Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

ABSTRACT: Objective To explore the differences in the quality characteristics of raw wooden meat (WB) and objective detection methods. **Methods** Fillet weight was determined and compression force (CF) of cranial region were conducted using Probe and TA-25 respectively, then shear values(MORSF, MORSE and PC-MORS)were measured. **Results** Fillet weight, CF Probe, CF TA-25, MORSF, MORSE, PC-MORS were increased with the increase of WB category, 2 kinds of hardness probes could be used to detect the hardness of chicken breast. Raw breast texture analysis was useful in distinguishing WB, and PC-MORS could be a good characteristic feature to describe inner muscle texture in raw fillets associated with woody condition. There were different degrees of

基金项目: 江苏省家禽遗传育种重点实验室开放课题(JQLAB-KF-201901)、滁州学院科研启动基金项目(2017qd01)、滁州学院省级大学生 创新训练项目(S20190377059, S20190377113)

Fund: Supported by the Open Project of Jiangsu Provincial Key Laboratory of Poultry Genetics and Breeding (JQLAB-KF-201901), Chuzhou University Research Start-up Funding (2017qd01), and Chuzhou University Provincial Undergraduate Innovation Program (S20190377059, S20190377113)

^{*}通讯作者:孙啸,博士,主要研究方向为农产品加工、无损检测及智能化分级装备研发。E-mail: sunxiaonjau@126.com

^{*}Corresponding author: SUN Xiao, Ph.D, School of Biological Science and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China. E-mail: sunxiaonjau@126.com

correlation among the meat quality traits, and fillet weight, CF Probe, MORSE, PC-MORS were extremely significant correlated to WB score. The overall recognition accuracy rate of the developed BP neural network model was 90.6%. **Conclusion** The characteristic parameters of hardness test method and texture analysis are determined, and the evaluation model of lignification grade is studied. The research results can provide a theoretical support for the development of on-line detection and grading device of ligneous chicken breast.

KEY WORDS: woody breast; raw meat quality; compression force; shearing; back-propagation neural network; classification

1 引 言

随着禽肉市场的不断发展及人均鸡肉消费水平的显 著递增,现阶段的禽肉加工分类更加细致,产品深加工程 度也不断提升[1-3]。长期目标性育种及饲料营养成分比例的 提高, 肉鸡饲养效率及活体重量较 50 年前已有成倍的增 长^[4,5]。现阶段快大型(生长速度快、饲料转化率高)肉鸡体 系在满足市场需求的同时也带来了多种品质缺陷及肌肉病 变问题, 其中木质鸡胸肉(woody/wooden breast, WB)问题 最为突出。木质肉主要出现于胸大肌(Pectoralis major)上, 其肌肉组织退化、颜色苍白并呈现不同程度的坚硬触感, 木质化程度严重的鸡胸肉表面有渗血及黏性分泌物, 胸肉 末端有明显的脊状凸起[6-10](见图 1)。研究发现木质鸡胸肉 营养价值降低(脂肪、结缔组织、蛋白质含量低)^[11-13],加 工特性变差(pH 高、持水率低、腌渍得率低、蒸煮损失 高)^[14-17], 食用品质下降(硬度大、风味差、难咀嚼)^[18-21], 因 其性状特殊、发生机制不明使得木质肉问题受到学者及禽 肉加工行业的广泛关注^[22-25]。同时,美国农业部于 2017 年7月发布标准[23]要求对严重木质化的鸡胸肉进行肌肉组 织修剪以保证产品品质统一,这造成了禽肉生产加工产业 每年超过2亿美金的巨大经济损失。现阶段木质鸡胸肉的 分级采用主观硬度指压法,该方法稳定性差、重复性低、 评价体系不统一(现有 2 级式^[26]、3 级式^[9]、4 级式^[14]分级 法,如表1所示)。部分研究采用硬度检测来描述木质肉差 异但并未建立客观分级方法。此外,木质鸡胸肉品质分析 主要集中于熟肉产品的差异研究,对于生肉品质特性检测 研究鲜见报道。因此, 禽肉生产加工中急需探讨客观检测 方法代替硬度指压法,并分析生肉的质构表征以确定木质 化分级评价体系。这对禽肉生产中木质鸡胸肉智能化分级 检测具有高效的指导意义和实用价值。

本文以不同木质化等级的鸡胸肉作为研究样本,采 用探头机械挤压对生肉进行客观硬度检测,并对肌肉组织 内部的质构表征进行剪切分析,以期发现能够描述生肉木 质化表征指标。在此基础上确定木质鸡胸肉生肉品质表征 及检测方法,并通过 BP 神经网络(back-propagation neural network)确定木质化等级判定模型。



图 1 正常鸡胸肉(A)和木质鸡胸肉(B) Fig.1 Normal breast fillet (A) and woody breast fillet (B)

2 材料与方法

2.1 鸡胸肉样本采集

共 368 只 Cobb 500(科宝)肉鸡饲养至 63 d 进行宰杀, 所有肉鸡在宰杀前禁食 10 h 后运至屠宰场,肉鸡通过电击 晕,放血,高温烫毛,去头、爪后,手动去除内脏并对鸡胴 体进行清洗。随后放入温度为 1 °C 的冰水中水浴预冷处理 160 min, 3 h 后去骨分割。根据去骨程序的相关规定避免人 为差异造成鸡胸肉的尺寸大小及肉质改变,所有冷却后的 鸡胴体由专业人员(6~8 人)参照文献^[25]的方法进行分割。 所有实验样本均用食品保鲜袋封口包装后置于冷藏室 (4 °C)保存。

2.2 WB 等级的判定及分级标注

现阶段 WB 等级评定主要依靠经过分级培训且有经验的工作人员通过感官及触感进行分级,根据其硬度及外观纹理按照表1中3级式进行分级。

2.3 仪器及配件

质构仪[硬度检测探头: Probe 探头(直径 6 mm, 英国、TA-25 探头(直径 25 mm)、生肉剪切探头: Meullenet-Owens Razor Shear 探头](英国 Texture Technologies公司); 电子称(精度 0.1 g, 上海寺冈电子衡器 有限公司)。

	表 1 现阶段不同种类的 WB 人工评定标准 Table 1 Various scoring system of woody breast fillets
2级式(2-point system)	3 级式(3-point system)

2 级式(2-point system)	2 级式(2-point system) 3 级式(3-point system)	
正常(normal)——鸡胸肉整体十分柔软,外 表平滑细腻,柔韧性好,无硬感存在	正常(normal)——鸡胸肉整体十分柔软,外 表平滑、细腻,柔韧性好,掂在手中胸肉两 端自然垂下	正常(normal)——鸡胸肉整体十分柔软,外 表平滑、细腻,柔韧性好,掂在手中胸肉两 端自然垂下
木质肉(woody breast)——鸡胸肉整体呈现 不同程度的坚硬触感,且胸肉外表粗糙, 有明显的木质化纹理存在,多数严重情况 下,鸡胸肉底部可见明显凸起	中度(moderate)——硬度主要集中在顶部 区域,底部区域较顶部区域柔软,掂在手 中底部仍有一定的下垂感,且底部隐约可 见凸起状部位	轻微(mild)——鸡胸肉整体柔软且柔韧, 在 其顶部区域可感知轻微硬度触感存在
	严重(severe)——鸡胸肉整体触感坚硬,颜 色苍白,无柔韧性,硬度明显增大,表面 呈现木质化纹理结构。掂在手中无下垂感, 通常鸡胸肉整体可立在手中,表面有水膜 状分泌物质且底部可明显发现凸起部位, 有些情况下胸肉表面可见渗血	中度(moderate)——硬度主要集中在顶部 区域,底部区域较顶部区域柔软,据在手 中底部仍有一定的下垂感,且底部隐约可 见凸起状部位
		严重(severe)——鸡胸肉整体触感坚硬,无 柔韧性,硬度明显增大,表面呈现木质化 纹理结构。掂在手中无下垂感,通常鸡胸肉 整体可立在手中,表面有水膜状分泌物质 且底部可明显发现凸起部位,有些情况下 胸肉表面可见渗血

2.4 生肉样本重量及硬度检测

将冷藏后的样本按每组 5 个先后取出,剩余样本冷藏 保存,确保样本温度稳定,对所有实验样本进行重量(W)测 量,然后通过质构仪控制 Probe 及 TA-25 探头对样本顶部区 域进行硬度检测试验。探头挤压比为 20%,初始触发受力为 5 g,初始高度为 60 mm,探头接触样本时的测试速度为 5 mm/s,但其触碰样本前及挤压完成后的运动速度为 10 mm/s。每个探头在样本顶部区域分别进行 3 次挤压,记 录每次挤压后所得的最大受力并以 3 次挤压力(compression force, CF)均值作为单个鸡胸肉样本硬度检测结果, 2 种探头 的检测结果分别用 CF Probe 和 CF TA-25 表示。

2.5 生肉剪切实验

将经过硬度检测的样本由质构仪连接 MORS 剪切探 头在样本顶部区域垂直肌肉纹路方向进行 4 次剪切试验 (图 2), 探头的起始触发受力为5g, 初始高度为60 mm, 剪 切距离设置为 20 mm, 剪切测试速度为 5 mm/s, 探头在触 发受力前及剪切完成后的运动速度为 10 mm/s。生肉样本 剪切完成后将剪切过程中产生的剪切力(MORSF, N)、剪切 能量(MORSE, N·mm)及剪切过程中产生的峰值个数 (PC-MORS)的均值作为生肉剪切试验的结果。此外, MORS 探头在经过 99次剪切试验后需要进行更换^[12,26], 防止因探 头锋利度降低而影响试验参数测量的准确性。



图 2 生肉剪切试验示意图 Fig.2 Location of MORS shear on raw breast fillets

2.6 数据分析

试验数据采用 JMP(SAS 2017)软件通过 GLM Procedure 进行统计学分析。采用 Tukey's HSD 检测法,以不同 WB 等级为因素水平,分析不同生肉测量参量在不同 WB 等级间的显著差异。此外,分别对 2 种硬度检测探头 Probe 及 TA-25 的硬度检测次数(1、2、3 次)及 WB 等级 (NORM、MOD、SEV)之间的交互作用进行了数据分析。当组间数据的显著性水平 P<0.05 时,表明其具有显著性差异;当组间数据的显著性水平 P<0.001 时,表明其具有极显著差异。同时所有生肉检测参量之间进行相关性分析,并在此基础上分析各个检测参量分别与 WB 等级之间的相关性,其分析结果通过相关系数 r 表示。当 P<0.05 表示显

著相关, P<0.01 表示十分相关, P<0.001 表示极显著相关。

3 结果与分析

3.1 样本木质化等级分级结果

368 只肉鸡经屠宰分割获得的完整鸡胸肉经评级后正常(normal, NORM)有 211 个(57.42%),中度(moderate, MOD) 有 90 个(24.36%),严重(severe, SEV)有 67 个(18.22%)。本研究从上述鸡胸肉中随机选取 90 个样本作为研究对象,其中 NORM、MOD 及 SEV 每个等级各 30 个样本。

3.2 样本生肉重量及硬度检测结果

不同木质化等级的鸡胸肉样本重量及硬度检测结果

如表 2 所示,由表 2 可知,鸡胸肉重量随着 WB 等级的递 增而显著增大。前期研究发现,生长迅速及宰后胴体重量 越大的肉鸡出现木质化现象的概率显著增大,因此,木质 化等级越高其样本重量较大的趋势越明显^[8,27]。2 种硬度检 测探头挤压力检测结果显示,随着 WB 等级的升高,CF Probe 及 CF TA-25 都显著增大。其中 CF TA-25 在所有 WB 等级下均显著高于 CF Probe。因木质肉的硬度特性,不论 采用何种硬度检测探头,其挤压力大小都随 WB 等级的增 大而增大,同时因探头的挤压接触面积大小的差异,导致 接触面积越大的探头在相同的挤压条件下测得的挤压力要 显著大于接触面积小的探头,即在相同的 WB 等级内 CF TA-25 显著高于 CF Probe。

Table 2 Finet weight, compression force of breast finet with different woody category						
测量参数	WB 等级(n=30/组)			合并标准误差		
	NORM	MOD	SEV	- 日月 你正误差	<i>P</i> 值	
重量/g	388.60°	457.86 ^b	507.63 ^a	96.37	< 0.0001	
CF Probe/N	5.47 ^{c, y}	12.11 ^{b, y}	21.47 ^{a, y}	2.97	< 0.0001	
CF TA-25/N	16.92 ^{c, x}	29.01 ^{b, x}	42.38 ^{a, x}	6.83	< 0.0001	
合并标准误差	4.22	5.35	6.59			
<i>P</i> 值	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001			

	表 2	鸡胸肉生肉重量及硬度检测结果
Table 2	Fillet weight, comp	ression force of breast fillet with different woody category

注: 上标字母 a, b, c 指横向不同 WB 等级对比呈显著性差异, 上标字母 x, y 指纵向不同硬度检测探头在相同 WB 等级下对比呈显著性差异。其中 P<0.05 表明存在显著性差异, P<0.0001 表明存在极显著差异。

3.3 不同硬度检测探头与 WB 等级间挤压交互作用 结果

为了进一步探究挤压探头接触面积及讨论 WB 硬度 客观检测方法的合理性,本试验将 2 种硬度检测探头在 不同 WB 等级中测得的所有数据进行了深入分析。不同 硬度检测探头的检测次数与 WB 等级之间交互作用的分 析结果如图 3 和图 4 所示。其中,相同的 WB 等级内, CF Probe 组间无显著差异,但CF TA-25的第3次挤压力显著 高于第2次挤压力且显著高于第1次挤压力。2种检测探 头分次硬度检测时, CF Probe 和 CF TA-25 的第1次挤压、 第2次挤压及第3次挤压结果都随着WB等级的递增而 显著增大。CF Probe 的 3 次挤压力在 WB 等级组间区分 度明显, 而 CF TA-25 的 3 次挤压力在 WB 等级间存在交 互差异,在分次硬度检测时区分差异性降低。因探头挤压 面积大小的差异, 在硬度检测过程中, Probe 探头的挤压 点在 3 次挤压过程中处于独立分开的状态(图 5A), 在每 次测量中可以独立地反应检测区域的硬度。TA-25 探头挤 压面为直径 25 mm 的圆形区域,因鸡胸肉顶部区域面积 限制导致 3 次挤压过程中后 2 次挤压均出现挤压区域叠 加(图 5B), 导致 CF TA-25 数值在不同 WB 等级内均较大, 容易体现 WB 等级间的差异。

由上可知,2 种硬度检测探头在不同程度上都可以进行 WB 等级的区分。Probe 为小径类探头,在不同挤压过程中互不影响,同时可以更好地模拟人手指挤压鸡胸肉顶部 区域,与主观评价的过程相似;TA-25因挤压直径的增大导 致其挤压接触面积增大,同时在依次进行挤压的过程中出 现受压面叠加导致检测结果的挤压力数值较大,区分度明 显,更易实现 WB 等级的区分判定。



图 3 Probe 探头的硬度检测次数与 WB 等级间挤压力检测结果 (n=30)

Fig.3 Test results of extrusion pressure between hardness test times of Probe and WB level (*n*=30)





Fig.4 Test results of extrusion pressure between hardness test times of TA-25 probe and WB level (*n*=30)



图 5 Probe(A)和 TA-25(B)硬度检测探头的挤压区域 Fig.5 Compression locations of Probe (A) and TA-25 (B)

3.4 鸡胸肉生肉质构剪切检测结果

不同 WB 等级鸡胸肉生肉质构检测结果如表 3 所示。 由表 3 可知, MORSF、MORSE 及 PC-MORS 随着 WB 等 级的递增而显著增大。孙啸等^[8]熟肉剪切结果发现,随着WB等级的递增,PC-MORS随着WB等级递增而显著增大, 说明PC-MORS是描述木质肉熟肉肉质的特征指标。对生 肉进行质构分析发现,MORSF、MORSE和PC-MORS都可 以显著区分生肉的WB等级,是描述生肉质构及内部肌肉 组织结构的有效特征指标。因木质肉等级越高其肌肉组织 间的层状结构越多^[7],同时在生肉烹饪熟化过程中蛋白质 变性、水分流失等变化仅增加了肌肉组织之间的聚合力, 其组织内部层状结构并不会有显著变化。因此,木质肉生 肉的PC-MORS越大,使用PC-MORS对生肉的质构分析 能较好的区分WB等级。

3.5 生肉检测指标之间及其与木质化等级之间的相关性分析

生肉检测指标之间及其与木质化等级之间的相关性分析结果如表 4 所示,其中重量、CF Probe 及 CF TA-25 为鸡 胸肉生肉外观特征指标,而 MORSF、MORSE 及 PC-MORS 为鸡胸肉内部组织的质构指标。由表 4 可知,其中外观特征 指标中重量与 CF Probe 和 CF TA-25 显著相关,2 种硬度检 测探头的检测指标之间存在极显著相关;内部组织的质构 指标 MORSF 与 MORSE 极显著相关;内部组织的质构 指标 MORSF 与 MORSE 极显著相关;MORSE 与 PC-MORS 极显著相关,MORSF 与 PC-MORS 十分显著相关;此外,重 量、CF Probe、MORSE、PC-MORSE 与 WB 等级之间存在 极显著相关,CF TA-25 及 MORSF 与 WB 等级之间存在 极显著相关,CF TA-25 及 MORSF 与 WB 等级十分显著相 关。由此可以推测,鸡胸肉生肉指标不论在外观特性还是内 部组织结构分析都可以一定程度上实现对 WB 的分级及判 定,可作为 WB 等级客观检测及判定的特征指标。

表 3 鸡胸肉生肉质构剪切检测结果 Table 3 Shear values of breast fillet with different woody category

	WB 等级(n=30/组)			今 并标准误差	
参数	NORM	MOD	SEV	百万你谁厌左	<i>P</i> 值
MORSF/N	8.13°	9.18 ^b	10.14 ^a	0.53	< 0.0001
MORSE/(N.mm)	88.26°	104.55 ^b	119.04 ^a	2.14	< 0.0001
PC-MORS	7.26°	10.33 ^b	15.94 ^a	0.55	< 0.0001

注: 上标字母 a, b, c 指横向不同 WB 等级对比呈显著性差异, 其中 P<0.05 表明存在显著性差异, P<0.0001 表明存在极显著差异。

表 4 生肉检测指标之间及其与木质化等级之间的相关性分析 Table 4 Correlation coefficients among breast weight, compression force and shear 相关性 重量 CF TA-25 MORSF MORSE PC-MORS CF Probe 重量 1.00 CF Probe 0.64^{*} 1.00 0.78^{***} CF TA-25 0.66* 1.00 MORSF 0.58^{*} 0.54^{*} 0.51^{*} 1.00 0.77*** MORSE 0.62* 0.68^* 0.63* 1.00 0.71*** PC-MORS 0.69** 0.68^{**} 0.62** 0.80^{***} 1.00 0.71*** 0.74*** 0.78*** 0.79*** WB 等级 0.74** 0.68^{**}

注:*表示显著相关(P<0.05);**表示十分显著相关(P<0.01);***表示极显著相关(P<0.001)。

3.6 木质鸡胸肉分级模型的建立与识别效果

相关性分析结果表明,所测生肉指标为WB等级判定的特征指标。因此,将重量、CF Probe、CF TA-25、MORSF、 MORSE、PC-MORS 作为输入,WB 等级作为输出,建立输入层节点为6,隐含层节点为11,输出层节点为1的鸡胸肉WB 等级的 BP 神经网络模型。其中 60 个样本作为模型的训练集,剩下的 30 个样本为模型的预测集,模型分析结果如表 5 所示。训练集和预测集的总体识别率分别为 85%和 70%。进一步分析发现大部分判定错误的样本主要为相邻 等级,并没有跨等级误判,说明模型的可信度尚可。同时, 该模型训练集针对正常肉(NORM)和木质肉(MOD, SEV) 的分级正确率分别可达 95%和 97.5%,预测集的正确率分 别为 80%和 90%,模型总体识别率达 90.6%。

4 结 论

木质肉为现阶段禽肉生产加工中新型品质缺陷问题之一,其发展迅速并对禽肉加工产业造成较大经济损失。本文在人工主观评级的基础上,确定了基于挤压力大小的客观检测方法,同时对生肉质构特性及检测指标进行研究。结果表明,重量、CF Probe、CF TA-25、MORSF、MORSE、PC-MORS 随着 WB 等级的递增而显著增大,2种硬度检测探头均可在一定程度上客观检测鸡胸肉硬度特性。各测量指标之间存在不同程度的相关性,其中重量、CF Probe、MORSE、PC-MORSE 与 WB 等级之间存在极显著相关。外观特性指标及内部组织质构指标均可以作为 WB 等级判定的客观指标,以此建立的 BP 神经网络 WB 等级判定模型具备良好的评价能力,为禽肉生产中木质鸡胸肉智能化分级检测提供科学依据。

		•		e	,		
模型样本分类 WB 等级	WD 生如	长士么粉	BP 神经网络识别结果			丁花 - 立 /0/	台仕识则玄似
	件平子致n	NORM	MOD	SEV	- 止佣举/%	忌平识别举/%	
	NORM	20	19	1	0	95	
训练集	MOD	20	1	16	3	80	85
SEV	20	0	4	16	80		
	NORM	10	8	2	0	80	
预测集	MOD	10	2	7	1	70	70
	SEV	10	0	4	6	60	
			正常肉		木质肉		
正常肉 训练集 木质肉	20	19		1	95	06.2	
	木质肉	40	1		39	97.5	96.3
正常 预测集 木质	正常肉	10	8		2	80	85
	木质肉	20	2		18	90	

表 5 BP 神经网络模型的判定结果 Table 5 Accuracy rates of WB classification using BP neural network

注: 正常肉指上述 NORM 等级的鸡胸肉样本,木质肉指上述等级中 MOD 和 SEV 2 个等级的鸡胸肉样本。

参考文献

- 陈坤杰,李航,于镇伟,等. 基于机器视觉的鸡胴体质量分级方法[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 290–295, 372.
 Chen KJ, Li H, Yu ZW, *et al.* Grading of chicken carcass weight based on machine vision [J]. J Agric Mach, 2017, 48(6): 290–295, 372.
- [2] 陈坤杰,刘浩鲁,於海明,等. 基于 CT 图像技术的三黄鸡胴体物理特 征分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(7): 294–300.
 Chen KJ, Liu HL, Yu HM, *et al.* Analysis on physical characteristics of Sanhuang chicken carcasses based on CT image technology [J]. J Agric Mach, 2017, 48(7): 294–300.
- [3] 陈宏强, 王虎虎, 赵雪, 等. 木质化鸡胸肉发生率统计及其肉糜功能特性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(20): 49–53.
 Chen HQ, Wang HH, Zhao X, *et al.* The incidence of wooden chicken breast and the functional properties in its meat batter [J]. Food Ind Technol,

2017, 38(20): 49-53.

- [4] Sihvo HK, Immonen K, Puolanne E. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers [J]. Vet Pathol, 2014, 51(3): 619–623.
- [5] Mazzoni M, Petracci M, Meluzzi A, *et al.* Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat [J]. Poultry Sci, 2015, 94(1): 123–130.
- [6] 孙啸,陈彩蓉,周漫静,等.木质硬度缺陷鸡肉特征及其判定[J]. 食品 科学, 2017, 38(7): 82-87.

Sun X, Chen CR, Zhou MJ, *et al.* Characteristics and Identification of woody breast fillets [J]. Food Sci, 2017, 38(7): 82–87.

[7] 孙啸, 刘浩鲁, 陈彩蓉, 等. 基于特征参量的肉鸡木质肉在线检测方法
 [J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 284–289.
 Sun X, Liu HL, Chen CR, *et al.* Online detection method of raw woody

breast based on characteristic parameter [J]. J Agric Mach, 2017, 48(6): 284–289.

- [8] 孙啸,张大成,季方芳,等. Woody Breast 短期贮藏中肉质的变化[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 213–219.
 Sun X, Zhang DC, Ji FF, *et al.* Effect of short-term storage on raw meat quality traits of woody breast fillets [J]. J Food Sci, 2017, 38(9): 213–219.
- [9] Mudalal S, Lorenzi M, Soglia F, et al. Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat [J]. Animal, 2015, 9(4): 728–734.
- [10] Petracci M, Mudalal S, Soglia F, et al. Meat quality in fast-growing broiler chickens [J]. World's Poul Sci, 2015, 71: 363–374.
- [11] Soglia F, Mudalal S, Babini E, *et al.* Histology, composition, and quality traits of chicken pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality [J]. Poul Sci, 2016, 95: 651–659.
- [12] Tijare VV, Yang FL, Kuttappan VA, et al. Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies [J]. Poul Sci, 2016, 95(9): 2167–2173.
- [13] Soglia F, Zeng Z, Gao J, at al. Evolution of proteolytic indicators during storage of broiler wooden breast meat [J]. Poul Sci, 2018, 97: 1448–1455.
- [14] Cai K, Shao W, Chen X, at al. Meat quality traits and proteome profile of woody broiler breast (pectoralis major) meat [J]. Poul Sci, 2018, 97: 337–346
- [15] Chatterjee D, Zhuang H, Bowker BC, *et al.* Instrumental texture characteristics of broiler pectoralis major with the wooden breast condition [J]. Poul Sci, 2016, 95: 2449–2454.
- [16] Kuttappan VA, Hargis BM, Owens CM. White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: A review [J]. Poul Sci, 2016, 95(11): 2724–2733.
- [17] Aguirre ME, Owens CM, Miller RK, *et al.* Descriptive sensory and instrumental texture profile analysis of woody breast in marinated chicken [J]. Poul Sci, 2018, 97: 1456–1461.
- [18] Bowker B, Zhuang H. Impact of white striping on functionality attributes of broiler breast meat [J]. Poul Sci, 2016, 95: 1957–1965.
- [19] Brambila GS, Chatterjee D, Bowker B, et al. Descriptive texture analyses of cooked patties made of chicken breast with the woody breast condition

[J]. Poul Sci, 2017, 96: 3489-3494.

- [20] Taseniero G, Cullere M, Cecchinato M, et al. Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by white striping and wooden breast myopathies [J]. Poul Sci, 2016, 95: 2707–2714.
- [21] Zotte AD, Cecchinato M, Quartesan A, et al. How does "wooden breast" myo-degeneration affect poultry meat quality [J]. Arch Latinoam Prod Anim, 2014, 22: 476–479.
- [22] Brot S, Perez S, Shivaprasad HL, et al. Wooden breast lesions in broiler chickens in the UK [J]. Vet Rec, 2016, 178(6): 141–143.
- [23] USDA-FSIS. Disposition instructions for "woody breast" and "white striping" poultry conditions [Z]. 2017.
- [24] Sihvo HK, Immonen K, Puolanne E, et al. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers [J]. Vet Pathol, 2014, 51(3): 619–623.
- [25] Mehaffey JM, Pradhan SP, Meullenet JF, *et al.* Meat quality evaluation of minimally aged broiler breast fillets from five commercial genetic strains
 [J]. Poul Sci, 2006, 85(5): 902–908.
- [26] Lee YS, Owens CM, Meullenet JF. The meullenet-owens razor shear (MORS) for predicting poultry meat tenderness: Its applications and optimization [J]. J Texture Stud, 2008, 39(6): 655–672.
- [27] Sun X, Koltes DA, Coon CN, *et al.* Instrumental compression force and meat attribute changes in woody broiler breast fillets during short-term storage [J]. Poult Sci, 2018, 97: 2600–2606.

(责任编辑:于梦娇)



孙 啸,博士,主要研究方向为农产 品加工、无损检测及智能化分级装备研发。 E-mail: sunxiaonjau@126.com