

基于特征参量的肉鸡木质肉在线检测方法

孙 啸 刘浩鲁 陈彩蓉 陈坤杰

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

摘要: 近年来肉鸡中出现的肌肉缺陷疾病——木质肉 (Woody/wooden breast, WB) 越来越受到关注。为了探索 WB 在线检测方法及熟肉肉质区别, 以完整的鸡胸肉样本 (左、右 2 部分) 作为实验研究对象, 左半部分样本进行挤压力 (Compression force, CF) 测量, 同时通过高压空气无损检测系统采集不同实验高度 (12、15、18 cm) 下样本的形变参量; 右半部分样本进行蒸煮后, 以蒸煮损失率、2 种剪切探头做功 (MORSE、BMORSE) 及剪切力产生的峰值个数 (PC - MORS、PC - BMORS) 作为熟肉肉质评价参量。实验结果表明: 生肉实验中, CF 随 WB 等级升高显著增大, 而 12、15、18 cm 处圆形变形量随 WB 等级升高显著减小; 18 cm 处圆形变形量与 WB 等级极显著相关, 可作为 WB 在线检测潜在的特征参量, 结合图像处理技术可能实现对 WB 在线检测分级。熟肉实验中蒸煮损失率、BMORSE、PC - BMORS 随 WB 等级升高显著增大, 但 MORSE 在各等级间无差异, 说明 BMORS 探头更适合 WB 熟肉肉质分析。此外, PC - MORS、PC - BMORS 比传统的剪切能量评价体系更加容易区分 WB 等级, 不仅可作为新的特征参量评价 WB 熟肉肉质, 同时也客观地描述了不同 WB 等级间肌肉内部结构及纹理特征。

关键词: 鸡肉肉质; 木质肉; 特征参量; 在线检测

中图分类号: TS251.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)06-0284-06

On-line Detection Method of Raw Woody Breast Based on Characteristic Parameter

SUN Xiao LIU Haolu CHEN Cairong CHEN Kunjie

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: Global attention has been drawn to the woody breast (WB) myopathy in modern poultry industry which is observed a distinct hardness of raw fillets. The test was conducted to determine effectiveness of compression force and air deformation of fillet surfaces to identify WB in raw fillets and meat quality with different WB categories in cooked fillets. Whole breast fillets were collected from 49 d broilers categorized in normal (NORM), moderate (MOD) and severe (SEV) categories of WB ($n = 30/\text{category}$). Left part fillets were conducted compression force (CF) and air deformation measurement; right part fillets were cooked and sheared with MORS and BMORS. Cook loss (CL), shear energy (MORSE and BMORSE) and peak counts of shear curves (PC - MORS and PC - BMORS) were recorded on each fillet. In raw fillets, CF was increased remarkably with the increase of WB ($P < 0.05$), diameter measurements of air deformation was decreased ($P < 0.05$) as the increase of WB categories regardless of distance. In cooked fillets, WB negatively affected CL and shear properties. The result indicated that air deformation may be potentially used as tool for online raw fillet detection, and the new method of peak counting was useful in distinguishing among WB categories, which could be a good feature to describe WB inner muscle texture of cooked fillet.

Key words: poultry meat quality; woody breast; characteristic parameter; on-line detection

引言

无骨鸡胸肉因其营养价值丰富一直广受消费者

青睐^[1-2]。为了满足消费需求, 家禽企业通过选择性育种培育生长迅速、出肉率高的肉鸡品种。如今肉鸡养殖出栏时间较 50 年前减半, 而肉鸡活体重却

是 50 年前的 2 倍,同时在养殖过程中肉鸡平均增加单位质量所需时间较 50 年前减少 $2/3$ ^[3-4]。但肉鸡市场迅速发展的同时,肌肉缺陷问题也随之出现^[5-9],其中木质肉 (Woody/wooden breast, WB)^[10-18]近几年备受关注。与正常鸡肉相比,WB 因肌肉退化致其整体颜色苍白且呈现不同程度的坚硬触感,对于 WB 比较严重的鸡胸肉表面同时会有渗血及粘性分泌物,还可能与白色纹理缺陷 (White striping, WS)^[19-22]同时出现。WB 虽未发现食用后会对人体健康产生危害,但感官评价研究发现其食用品质差,口感硬且有类似橡胶质感使人难以咀嚼^[23],因此对于 WB 程度较低的鸡胸肉,通常都作为副产品处理;而对 WB 程度严重的鸡胸肉,大部分厂家都选择直接废弃的处理方式,给家禽加工企业造成巨大的经济损失^[24]。目前,WB 在家禽产业生产中发生率有 5% ~ 10%,在有些严重地区可达 15% 或更高,饲养周期长的肉鸡 WB 出现的几率也随之升高。如今美国、西班牙、意大利等国都相继出现 WB 问题^[25-26]。国内速生型肉鸡市场不断扩大,但 WB 生肉在线检测以及 WB 熟肉肉质的分析研究尚未见报道。近年来国内对肉类产品品质检测的研究已较多^[27-32],为探寻 WB 在线无损检测的方法及研究其熟肉肉质,本文通过生肉硬度检测同时结合高压空气无损检测方式进行检测,分析 2 种方式测量参数之间的相关性,以期确定可对 WB 肉检测的特征参量,为后续研究设计在线 WB 检测分级装置提供理论依据。此外,本文还对 WB 熟肉肉质进行分析评价,在传统剪切实验基础上结合剪切特征参量分析不同等级 WB 肌肉内部结构及纹理特征。

1 实验材料与方法

1.1 实验样本

496 只 Cobb 500 品种肉鸡饲养至 49 d 进行宰杀,所有肉鸡在宰杀前 10 h 禁食但保证正常饮水,肉鸡活体平均质量 3.83 kg。宰杀时,肉鸡通过电击晕、放血、高温烫毛、去头和爪后,手动去除内脏并对鸡胴体进行清洗。随后放入温度为 1℃ 的水浴环境下冷却 90 min,2 h 后去骨分割。根据去骨程序的相关规定,同时为了避免因人为主的差异造成鸡胸肉的尺寸大小及肉质改变,所有肉鸡均有经过长期训练的专业人员 (6 ~ 8 人) 参照文献^[33]的方法进行分割。所有实验样本均切割成左、右 2 部分,用食品保鲜袋包装后置于冷藏室 (4℃) 保存。

1.2 WB 等级的评定及标准

现阶段研究中 WB 等级评定主要依靠人的感官及触感进行分级,根据其表观纹理硬度参照文

献^[14]的方法分为 3 个等级,其中各等级的评判标准如表 1 所示。

表 1 WB 样本分级标准
Tab. 1 Woody breast fillet scoring standard

等级	描述
低 (NORM)	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
中 (MOD)	硬度主要集中在顶端区域,底部较顶端柔软,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
高 (SEV)	整体触感坚硬,无柔韧性,硬度显著增加,表面呈现木质状纹理结构。掂在手中无下垂感,通常整体可立在手中,表面有水膜状分泌物且底部可明显看见凸起部位,有些胸肉表面可见渗血

1.3 实验仪器设备

质构仪 (Texture Technologies 公司), 硬度检测探头 (Probe 探头, 长 12 cm、直径 6 mm), 电子秤 (精度 0.1 g), 高压空气装置 (414 kPa), 电子游标卡尺 (精度 0.01 mm), 烹饪锡纸, 剪切探头 Meullenet - Owens Razor Shear (MORS) 及 Blunt Meullenet - Owens Razor Shear (BMORS)。

1.4 样本硬度检测

将经冷藏 24 h 后左半部分样本取出,通过质构仪控制 Probe 探头对样本顶端进行挤压百分比为 20% 的硬度检测实验。探头的触发受力为 5 g, 初始高度为 55 mm, 测试速度为 5 mm/s, 探头触碰样本前及挤压完成后的运动速度为 10 mm/s。每个探头在样本顶端区域进行 3 次非破坏性挤压,记录每次挤压后所得的最大受力并以 3 次挤压力 (Compression force, CF) 均值作为硬度检测结果。

1.5 高压空气无损检测

经过硬度检测的样本通过高压空气装置进行无损检测实验。每个样本分别在 3 种不同高度 (12、15、18 cm) 下进行检测。高压空气无损检测装置如图 1 所示,图中 D 为实验设定高度。出气口喷出高压气流 (414 kPa) 垂直作用于样本顶部使其产生圆形形变,用电子游标卡尺对圆形区域直径进行 4 次测量 (直径为 $d_1 \sim d_4$), 最终将平均值作为单个样本在固定高度下的形变参量,如图 2 所示。

1.6 熟肉蒸煮实验

将冷藏 24 h 的右半部分样本取出,去除样本表面多余脂肪,切除样本底部区域,称量并记录结果。参照文献^[34]所述方法对样本进行蒸煮,将样本放在用锡纸包裹的托盘内,放入温度为 176℃ 烤箱内使样本中心温度达到 76℃,取出样本冷却至室温

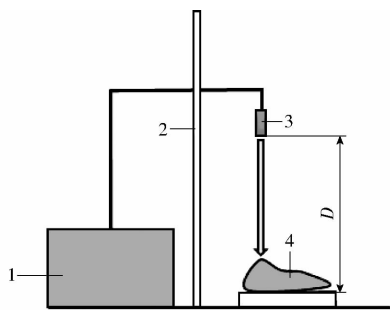


图 1 高压空气无损检测系统

Fig. 1 High pressure air noninvasive testing system
1. 高压空气装置 2. 高度调节及固定支架 3. 高压空气出口
4. 实验样本

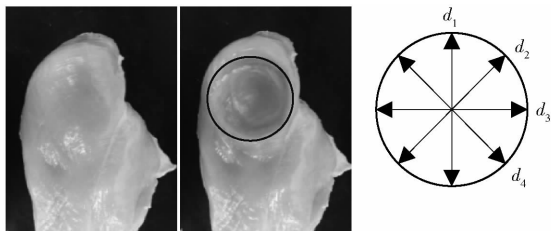


图 2 空气形变参数测量示意图

Fig. 2 Sketch of air deformation feature measurement

(20℃)后再次进行称量并记录结果。所有样本用锡纸包裹后放入 4℃ 冷藏室保存至第 2 天进行剪切实验。蒸煮损失率计算公式为

$$C = (1 - w_1/w_0) \times 100\%$$

式中 w_0 ——蒸煮前样本质量, g
 w_1 ——蒸煮后降至室温的样本质量, g

将经过冷藏至恒温的样本由质构仪分别控制 MORS、BMORS 探头于样本顶部且垂直肌肉纹路方向进行 4 次剪切实验(图 3),探头的触发受力为 10 g,初始高度为 55 mm,剪切深度为 20 mm,测试速度为 5 mm/s,探头触碰样本前及挤压完成后的运动速度为 10 mm/s。剪切完成后样本数据中的剪切力做功(MORSE 和 BMORSE, N·mm)和产生的峰值个数(PC-MORS、PC-BMORS)均值被记录作为剪切实验的参量测量最终结果。其中 MORS 探头在经过 99 次剪切实验后需要更换新的探头,防止因探头剪切刀口变钝而影响实验结果。

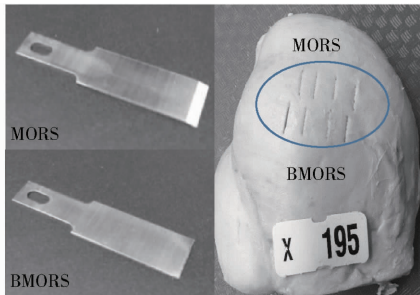


图 3 剪切探头及剪切区域

Fig. 3 Shearing region of MORS and BMORS

1.7 数据分析

实验数据采用 JMP(SAS, 2015)软件通过 GLM Procedure 进行统计学分析。采用 Tukey's HSD 检测法,对数据组间显著性差异进行对比分析。当显著性水平设定 $P < 0.05$ 时,组间数据呈显著性差异。对生肉测量参量之间进行相关性分析,同时对所有生肉及熟肉测量参量与 WB 等级之间进行相关性分析,结果用相关系数 R 表示。 $P < 0.05$ 表示显著相关, $P < 0.001$ 表示极显著相关。

2 结果与讨论

2.1 样本 WB 分级结果

经宰杀的 496 只肉鸡参照表 1 标准进行 WB 等级评定,评定后 NORM 有 292 个(58.87%),MOD 有 122 个(24.60%),SEV 有 82 个(16.53%)。本研究从上述 3 种 WB 等级中各取 30 个完整的鸡胸肉作为实验对象。

2.2 WB 生肉检测分级结果

不同 WB 等级下生肉肉质检测结果如表 2 所示。由表 2 可知,CF 随 WB 等级的升高而显著增大。因 WB 等级升高,样本整体硬度显著增大导致 CF 也显著增大。而 3 种不同高度下高压空气无损检测结果变化与 CF 相反,其随 WB 等级的升高而显著减小。当相同压力空气作用在不同等级的 WB 表面时,NORM 因整体柔软而产生较大的圆形形变。而随 WB 等级的升高,样本硬度也相应显著增加,导致相同压力的空气进行检测时产生的圆形形变区域减小。此外,当不同高度的高压空气作用在同样等级的 WB 表面时,高度越低空气作用区域越集中,对样本表面产生的压力越大,所产生的圆形形变区域越小,导致圆形形变区域随着高度的降低逐渐减小。

表 2 不同 WB 等级下生肉肉质检测结果
Tab. 2 Detection result of raw fillet meat quality at different WB categories

参数	NORM	MOD	SEV
挤压力/N	4.82 ^c	9.52 ^b	17.21 ^a
12 cm 处圆形变形量/mm	39.74 ^a	35.92 ^b	34.71 ^c
15 cm 处圆形变形量/mm	52.09 ^a	46.97 ^b	41.49 ^c
18 cm 处圆形变形量/mm	59.02 ^a	53.00 ^b	48.19 ^c

注:同行中上标字母不同表示 WB 组间对比存在显著性差异($P < 0.05$),下同。

由表 3 各参数间相关性分析可知,挤压力与 18 cm 处圆形变形量($R = 0.80$)及 15 cm 处圆形变形量($R = 0.76$)极显著相关($P < 0.001$),且 18 cm 处圆形变形量与 15 cm 处圆形变形量之间极显著相关($R = 0.77, P < 0.001$),但与 12 cm 处圆形变形量

不相关。主要原因可能由于 12 cm 高度距离样本作用区域最近,导致 WB 等级组间参数差异较 18 cm 和 15 cm 高度小,使其与挤压力无相关性。由此可推测,高压空气无损检测在 18 cm 或 15 cm 高度下可一定程度上代替机械硬度检测,未来结合机器视觉及图像处理技术提取形变区域参量有可能实现在线实时对 WB 的分级。

表 3 生肉样本参数相关系数

Tab.3 Correlation coefficient of parameters in raw fillets

	挤压力	18 cm 处圆 形变形量	15 cm 处圆 形变形量	12 cm 处圆 形变形量
挤压力	1			
18 cm 处圆形变形量	0.80***	1		
15 cm 处圆形变形量	0.76***	0.77***	1	
12 cm 处圆形变形量	0.43	0.59	0.57	1

注：***表示极显著相关($P < 0.001$)。

2.3 WB 熟肉蒸煮及剪切实验结果

不同 WB 等级下熟肉肉质检测结果如表 4 所示。由表 4 可知,蒸煮损失率、BMORSE 及 PC - BMORS 参量都随 WB 等级的增加而显著增大。MORSE 在不同 WB 等级间无显著差异,而 PC - MORS 参量 SEV 显著高于 NORM 与 MOD,且 NORM 与 MOD 组间无显著差异。

表 4 不同 WB 等级下熟肉肉质检测结果

Tab.4 Dectection result of cooked fillet meat quality at different WB categories

参数	NORM	MOD	SEV
蒸煮损失率/%	24.19 ^c	29.90 ^b	34.45 ^a
MORSE/(N·mm)	178.63 ^a	178.78 ^a	185.43 ^a
PC - MORS	8.16 ^b	8.82 ^b	14.49 ^a
BMORSE/(N·mm)	204.72 ^c	227.70 ^b	273.50 ^a
PC - BMORS	4.40 ^c	6.90 ^b	9.49 ^a

蒸煮损失率随 WB 等级的升高而明显增大,说明 SEV 在蒸煮过程中更易失去水分导致其持水率较低,嫩度明显下降,肉质整体偏硬、干燥,这些因素较大程度上影响了肉的食用品质,文献[11,14]发现的蒸煮损失率变化与本研究一致。此外,文献[21]发现通过 MORS、BMORS 进行剪切实验时,在不同 WB 等级间 BMORSE 差异性较 MORSE 明显,更适合对较大日龄的 WB 进行熟肉肉质评价。本研究结果与上述相吻合,因 MORS 切口部分较 BMORS 锋利,更易切入肌肉内部,并不会受熟肉 WB 等级不同导致嫩度变化的影响,因此 MORSE 结果无显著差异。而 BMORS 因切口部分刀片钝化(图 4)不易直接切入肌肉内部。当使用 BMORS 剪切不同 WB 等级的熟肉样本时,BMORSE 较 MORSE

高且 BMORSE 随 WB 等级的升高而显著增大,能更客观的区别 WB 的熟肉肉质,为 WB 的食用品质提供参考。

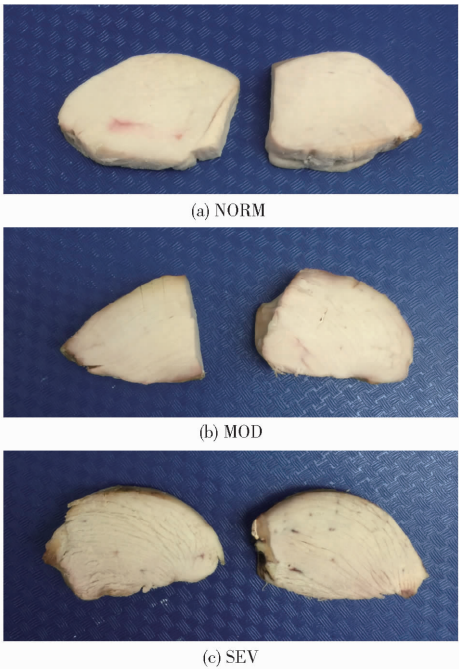


图 4 不同 WB 等级熟肉样本横截面
Fig.4 Cross sections of different WB categories in cooked fillets

文献[17]研究发现 SEV 较 NORM 含有较高的不溶性胶原蛋白和结缔组织,这些因素共同作用导致 SEV 结构与 NORM 及 MOD 存在差异。图 4 所示为不同 WB 等级熟肉横切面图像,由图 4 可知,NORM 肌肉结构纹理细密,而 SEV 因上述因素导致肌肉结构发生改变,具有明显的层状结构,且 SEV 层状结构较 NORM 及 MOD 多。当 MORS 或 BMORS 剪切样本时,由于不同 WB 等级的层状结构数量不同,在刀片切入时会因层状结构的影响而产生不同个数的峰值,最终使得 PC - MORS 及 PC - BMORS 在 SEV 等级下显著高于其他 WB 等级。此外,由于 MORS 与 BMORS 的切口不同(图 3),对于同一个样本 MORS 因切口锋利可以直接逐层切入肌肉内部,而 BMORS 因切口钝化在剪切样本时不易直接切入样本,通常先对样本表层内数层层状结构进行物理挤压,当挤压聚集的能量足够切入样本时,BMORS 将对数层层状结构同时切断。该过程重复进行直至完成一次剪切实验。因此,PC - BMORS 在同一样本下较 PC - MORS 小。

综上所述,通过蒸煮损失率及 2 种剪切探头对熟肉肉质检测发现熟肉肉质随 WB 等级的升高而降低,其食用品质显著下降。在 MORS 及 BMORS 中,

BMORS 可更加有效地区别 WB 熟肉肉质。同时, PC - MORS、PC - BMORS 作为新的衡量标准,在区分 WB 熟肉肉质组间差异的同时客观地反映了 WB 内部的结构及纹理特征。

2.4 各参量与 WB 等级之间相关性

对本研究中所有生肉及熟肉的测量参量与 WB 等级之间进行相关性分析,结果发现挤压力 ($R = 0.92$)、18 cm 处圆形变形量 ($R = 0.71$)、15 cm 处圆形变形量 ($R = 0.65$)、蒸煮损失率 ($R = 0.70$)、PC - MORS ($R = 0.68$)、PC - BMORS ($R = 0.71$) 参量均与 WB 等级极显著相关,BMORS ($R = 0.53$) 与 WB 等级显著相关,但 12 cm 处圆形变形量 ($R = 0.22$)、MORSE ($R = 0.13$) 与 WB 等级不相关。挤压力与 WB 等级相关性极高,是描述 WB 生肉硬度的极显著参量。18 cm 处圆形变形量的相关性较 15 cm 高,可作为检测 WB 等级的极显著形变参量。蒸煮损失率、PC - MORS、PC - BMORS 与 WB 等级极显著相关,是描述熟肉肉质的特征参量。综上,挤压力、18 cm 处圆形变形量可作为 WB 生肉肉质分析及判定的极显著参量,同时可以考虑用机器视觉技术提取 18 cm 处圆形变形量作为在线无损检测的特征参量替代传统的人工分级及机械检测方法,从而在一定程度上为实现 WB 的在线检测提供理论依据。蒸煮损失率、PC - MORS、PC - BMORS 这些参量可对

熟肉肉质进行分析预测,同时提供了不同 WB 等级样本内部的结构及纹理特征。

3 结束语

本文通过生肉的不同检测方法探求了一种可以替代人工评价体系的特征参量用于对 WB 的在线检测。此外,在对熟肉肉质进行检测分析的同时,通过对 PC - MORS、PC - BMORS 参量的分析,探讨了 WB 内部结构及纹理特征。实验研究表明,随着 WB 等级的升高,鸡胸肉生肉样本的挤压力显著增大,18 cm、15 cm 和 12 cm 处圆形变形量显著减小。熟肉样本中蒸煮损失率、BMORSE、PC - BMORS 显著增大。挤压力可作为描述 WB 等级极显著的硬度参量,同时 18 cm 处圆形变形量可作为实现 WB 在线检测分级的潜在特征参量;在熟肉肉质分析中 BMORS 较 MORS 更易对 WB 进行检测评价,在通过剪切能量 (MORSE、BMORSE) 评价肉质的同时,通过 PC - MORS 及 PC - BMORS 2 个参量增强了熟肉肉质评价的可靠性,同时对不同等级 WB 的内部结构及纹理特征做了直观地描述和区分。结合相关性分析,挤压力、蒸煮损失率、BMORSE、PC - BMORS 可作为 WB 生肉及熟肉肉质分析的特征参量,结合这些参量可客观地对 WB 肉的品质及等级进行预测和评定。

参 考 文 献

1 MARIA F, LUIS G. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: an overview [J]. Meat Science, 2014, 98(3): 361 - 371.

2 PETRACCI M, SIRRI F, MAZZONI M, et al. Comparison of breast muscle traits and meat quality characteristics in 2 commercial chicken hybrids [J]. Poultry Science, 2013, 92(9): 2438 - 2447.

3 BARBUT S, SOSNICKI A A, LONERGAN S M, et al. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat [J]. Meat Science, 2008, 79(1): 46 - 63.

4 HAVENSTEIN G B, FERKET P R, QURESHI M A. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets [J]. Poultry Science, 2003, 82(10): 1500 - 1508.

5 SILLER W G. Deep pectoral myopathy: a penalty of successful selection for muscle growth [J]. Poultry Science, 1985, 64(8): 1591 - 1595.

6 GRUNDER A A, HOLLANDS K G, GAVORA J S, et al. Degenerative myopathy of the Musculus supracoracoideus and production traits in strains of meat-type chickens [J]. Poultry Science, 1984, 63(4): 781 - 785.

7 PETRACCI M, BIANCHI M, CAVANI C. The European perspective on pale, soft, exudative conditions in poultry [J]. Poultry Science, 2009, 88(7): 1518 - 1523.

8 OWENS C M, ALVARADO C Z, SAMS A R. Research developments in pale, soft, and exudative turkey meat in North America [J]. Poultry Science, 2009, 88(7): 1513 - 1517.

9 ALVARADO C Z, SAMS A R. Turkey carcass chilling and protein denaturation in the development of pale, soft, and exudative meat [J]. Poultry Science, 2004, 83(6): 1039 - 1046.

10 MAZZONI M, PETRACCI M, MELUZZI A, et al. Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat [J]. Poultry Science, 2015, 94(1): 123 - 130.

11 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.

12 SIHVO H K, IMMONEN K, PUOLANNE E. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers [J]. Veterinary Pathology, 2014, 51(3): 619 - 623.

13 SOGLIA F, MUDALAL S, BABINI E, et al. Histology, composition, and quality traits of chicken pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality [J]. Poultry Science, 2016, 95(3): 651 - 659.

- 14 TIJARE V V, YANG F L, ALVARADO C Z, et al. Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies[J]. *Poultry Science*, 2016,95(9):2167–2173.
- 15 KUTTAPPAN V A, HARGIS B M, OWENS C M. White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review[J]. *Poultry Science*,2016,95(11):2724–2733.
- 16 TROCINO A, PICCIRILLO A, BIROLO M, et al. Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens[J]. *Poultry Science*,2015,94(12):2996–3004.
- 17 VELLEMAN S G, CLARK D L. Histopathologic and myogenic gene expression changes associated with wooden breast in broiler breast muscles[J]. *Avian Diseases*,2015,59(3):410–418.
- 18 CLARK D L, VELLEMAN S G. Spatial influence on breast muscle morphological structure, myofiber size, and gene expression associated with the wooden breast myopathy in broilers[J]. *Poultry Science*,2016,95(12):2930–2945.
- 19 KUTTAPPAN V A, BREWER V B, APPLE J K, et al. Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets[J]. *Poultry Science*,2012,91(10):2677–2685.
- 20 KUTTAPPAN V A, LEE Y S, ERF G F, et al. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping[J]. *Poultry Science*,2012,91(5):1240–1247.
- 21 KUTTAPPAN V A, SHIVAPRASAD H L, SHAW D P, et al. Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles[J]. *Poultry Science*,2013,92(2):331–338.
- 22 LORENZI M, MUDALAL S, CAVANI C, et al. Incidence of white striping under commercial conditions in medium and heavy broiler chickens in Italy[J]. *Journal of Applied Poultry Research*,2014,23(4):754–758.
- 23 TASONIERO 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]. *Poultry Science*,2016,95(11):2707–2714.
- 24 PETRACCI M, MUDALAL S, SOGLIA F, et al. Meat quality in fast-growing broiler chickens [J]. *Worlds Poultry Science Journal*,2015,71(2):363–374.
- 25 ZOTTE A D, CECCHINATO M, QUARTESAN A, et al. How does “wooden breast” myodegeneration affect poultry meat quality [J]. *Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal*,2014,22:476–479.
- 26 DE BROT S, PEREZ S, SHIVAPRASAD H L, et al. Wooden breast lesions in broiler chickens in the UK [J]. *Veterinary Record*,2016,178(6):141–143.
- 27 苏光明, HOSAHALLI S R, 于勇,等. 牛肉高压冷冻过程中热变化和冰晶形态研究[J/OL]. *农业机械学报*,2014,45(3):206–214. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140334&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.03.034.
- SU Guangming, HOSAHALLI S R, YU Yong, et al. Thermal behaviors and ice crystal properties in pressure shift freezing of beef [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(3):206–214. (in Chinese)
- 28 董庆利, 金曼, 胡孟哈, 等. 基于生物散斑技术的两部位牛肉质构特性预测模型改进[J/OL]. *农业机械学报*,2016,47(4):209–215. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160428&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.028.
- DONG Qingli, JIN Man, HU Menghan, et al. Improvement of modeling texture characteristics of different parts of beef based on biospeckle technique[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2016,47(4):209–215. (in Chinese)
- 29 王笑丹, 刘爱阳, 孙永海, 等. 基于自组织神经网络模型与质构特性的牛肉嫩度评定方法[J]. *农业工程学报*,2015,31(18):262–268.
- WANG Xiaodan, LIU Aiyang, SUN Yonghai, et al. Evaluation method of beef tenderness based on texture properties and self-organizing neural network model[J]. *Transactions of the CSAE*,2015,31(18):262–268. (in Chinese)
- 30 孙啸, 逢滨, 陈坤杰, 等. 基于高光谱图像光谱信息的牛肉大理石花纹分割[J/OL]. *农业机械学报*,2013,44(增刊1):177–181. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s132&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.032.
- SUN Xiao, PANG Bin, CHEN Kunjie, et al. Beef marbling segmentation based on hyperspectral imaging[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2013,44(Supp.1):177–181. (in Chinese)
- 31 逢滨, 孙啸, 陈坤杰, 等. 牛肉眼肌图像在线采集和实时分割系统[J/OL]. *农业机械学报*,2013,44(6):189–193. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20130632&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.06.032.
- PANG Bin, SUN Xiao, CHEN Kunjie, et al. On-line acquisition and real-time segmentation system of beef rib-eye image[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2013,44(6):189–193. (in Chinese)
- 32 田甲春, 韩玲, 刘昕, 等. 牦牛肉宰后成熟机理与肉用品质研究[J/OL]. *农业机械学报*,2012,43(12):146–150. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20121227&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.027.
- TIAN Jiachun, HAN Ling, LIU Xin, et al. Ageing mechanism and meat quality during postmortem ageing of yak meat[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2012,43(12):146–150. (in Chinese)
- 33 MEHAFFEY J M, PRADHAN S P, MEULLENET J F, et al. Meat quality evaluation of minimally aged broiler breast fillets from five commercial genetic strains [J]. *Poultry Science*,2006,85(5):902–908.
- 34 CAVITT L C, MEULLENET J C, XIONG R, et al. The relationship of razor blade shear, allo-kramer shear, warner-bratzler shear, and sensory tests to changes in tenderness of broiler breast fillets[J]. *Journal of Muscle Foods*,2005,16(3):223–242.