

生理成熟度及牛肉肌纤维特征与嫩度关系试验研究

陈坤杰 季方芳 徐佳琪

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

摘要: 生理成熟度(牛龄)是牛肉质量分级的重要参考指标,研究牛龄与嫩度之间的定量关系,对建立牛肉质量分级标准及牛肉自动分级系统的开发具有重要意义。选取4组不同月龄的牛肉背长肌样本,采集其眼肌区域微观图像,通过图像处理的方法提取出每个样本的肌纤维直径、周长和密度,然后再用质构仪测定出每个样本的剪切力,研究分析不同牛龄的牛肉肌纤维直径、周长和密度的变化规律及其与剪切力之间的关系。结果显示,随着牛龄的增大,牛肉肌纤维直径和周长均线性增加,而肌纤维密度则线性下降($P < 0.05$);同时,随着肌纤维直径和周长的增加、肌纤维密度的下降,牛肉剪切力线性增大($P < 0.05$)。牛龄对肌纤维直径、周长、密度及牛肉剪切力具有显著影响。

关键词: 牛肉; 肌纤维; 生理成熟度; 嫩度; 图像处理

中图分类号: S823; Q-334 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)05-0375-07

Experiment on Relationships among Physiological Maturity, Features of Beef Muscle Fiber and Beef Tenderness

CHEN Kunjie JI Fangfang XU Jiaqi

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

Abstract: The physiological maturity of cow (cow age) is considered to be an important indicator of beef quality classification. For development of beef quality grading standard and the automatic beef grading system, a quantitative relationship between the age and tenderness of beef plays an vital role which has to be established. To research the relationships among cow age, features of beef muscle fiber and beef tenderness, and four different groups of longissimus dorsi beef with different ages were selected, after been sliced up and stained, the microscopic images of the ribeye regions sample were collected by microscopic machine. Then the diameter, circumference and density of each muscle fiber were measured by using image processing. After determining the shear force of each beef sample by using a texture analyzer, the change of diameter, perimeter and density of beef fiber with age were analyzed, the relationship between the diameter, perimeter as well as density and the shear force were then established, respectively. The experiment result revealed that the diameter and circumference of beef fiber were increased, while the muscle fiber density was linearly decreased with the increase of age of the cow ($P < 0.05$). At the same time, it was also observed that the shear force of beef was significantly increased with the increase of diameter and perimeter of muscle fiber and the decrease of muscle fiber density ($P < 0.05$). It was concluded that the age of cattle had significant influence on the diameter, perimeter density of muscle fiber and shear force of beef. There was a significant correlation between the age of cow, the microparameters of beef muscle fiber and tenderness of beef, the relationship between them can be described with a linear model clearly.

Key words: beef; muscle fiber; physiological maturity degree; tenderness; image processing

0 引言

牛肉的品质包括嫩度、颜色和风味^[1-2]等,是决

定牛肉销售价格及消费者采购意向的主要因素。其中,牛肉的嫩度主要反映了其质地及食用时的口感,是决定消费者购买意向的最主要因素。影响牛肉嫩

度的因素主要有牛肉的品种、生理成熟度(牛龄)以及宰杀方式等。肌纤维是组成肌肉的基本单位,研究发现,肌纤维特征是描述肉质形成机理的一个重要的定量指标^[3],不仅可以用来评定肉的嫩度,而且与肉的颜色、肉表面纹理特征、pH值等密切联系。DAVIS等^[4]发现,肌纤维肌节长度越长,肉质越嫩;CENA等^[5]的试验研究也得出了类似的结论;KLONT等^[6]的研究证明,肌肉的肌纤维类型与牛肉的嫩度具有显著的相关性。牛蕾等^[7-9]发现,不同品种的牛肉,其肌纤维特性明显不同。其中,肌纤维直径作为肌纤维特性中的一个重要因素,其大小与牛肉嫩度密切相关。文献^[10-15]分别对猪肉的肌纤维直径与肉质嫩度的关系进行了研究,发现肌纤维直径与猪肉嫩度之间具有显著的相关性。孙竹珑^[16]研究了藏山羊的组织学特性,结果表明,藏山羊的肌纤维直径与嫩度呈负相关,直径愈小,肉质愈嫩。其中,影响肌纤维直径粗细的主要因素是羊的品种、年龄、运动量和营养状况等。肌纤维密度是影响牛肉嫩度的另一个相关因素。吴信生等^[17]研究了我国7个不同地方鸡种的组织学特性,发现肌纤维密度与肌肉嫩度的相关性较高,7个地方鸡种肌纤维密度与嫩度都呈负相关。王亚鸣等^[18]、沈元新等^[19]对骨骼肌纤维进行了研究,结果表明,骨骼肌纤维直径越小,肌纤维密度越大,二者呈负相关。陈骋等^[20]通过研究冻融次数对牛肉肌内蛋白含量的影响发现,牛肉肌纤维结构破坏程度随冻融次数增加而增加,冻融加剧汁液流失,影响牛肉的嫩度品质。孙竹珑等^[21]、杨博辉等^[22]分别研究了不同年龄组、不同品种的牦牛肌纤维与结缔组织的体积比,发现随年龄增长,牦牛肌内肌纤维含量呈下降趋势,而结缔组织含量呈上升趋势,肌纤维的比例越大,肉质越嫩。

尽管牛龄是影响牛肉品质的重要因素,也是牛肉质量分级的重要参考指标,但牛龄与牛肉嫩度之间的关系并不明确,不同牛龄牛肉的微观结构特征以及这些结构特征与牛肉嫩度之间的相关性研究,目前还没有报道。本文通过图像分析技术,测量不同牛龄牛肉肌纤维的直径、周长和密度,研究不同牛龄牛肉肌纤维的直径、周长和密度与牛肉剪切力之间的关系,从微观结构的角度,研究分析影响牛肉嫩度的因素,为牛肉品质分级提供一定的技术基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料和试剂

试验样本选自吉林省长春皓月清真肉业股份有限公司肉牛育肥场的杂交沃金黑牛,分别选取18、

36、54、72月龄已经阉割过的公牛各25头,共100头。在长春皓月屠宰场内经过宰杀、放血、去牛蹄内脏、剥皮、劈半、冲洗、胴体吊挂、72h排酸后,选取背最长肌经-30℃速冻后,运往实验室冰柜在-18℃下冷冻备用。其中80个用于试验,20个用于模型验证。

试验试剂主要有液氮(南京龙盛特种气体有限公司)和苏木素-伊红(H-E)染色液(包括核染液、浆染液,南京建成科技有限公司)。

1.2 试验仪器和设备

CM1990型冷冻切片机(德国Leica公司);ScopeA1型正置荧光显微镜(德国Carl Zeiss公司);TMS-PRO型质构仪(美国FTC公司);M30-H2型圆形钻孔取样器(直径1.5cm,哈尔滨量具刀具集团有限公司);HH-1型数显恒温水浴锅(金坛市城东超韵实验仪器厂);DT-612型热电偶测温仪(探头直径小于2mm,深圳华盛昌机械实业有限公司)。

1.3 牛肉嫩度的测定

根据文献^[23],牛肉的剪切力(反映牛肉嫩度,剪切力越低,表示嫩度越高)测量步骤如下:①将冷冻的肉样置于常温下解冻,直至中心温度达到0~4℃。②将肉样置于蒸煮袋中,将热电偶测温仪的探头插入肉样中心,实时监控肉样中心温度。③将肉样置于功率为1500W、水温为80℃的恒温数显水浴锅中加热。待肉样中心温度达到70℃时,将肉样从水浴锅中取出,冷却至中心温度为0~4℃。④拔出热电偶测温仪,为保证取出的肉样直径相同,统一用直径为1.5cm的圆形取样器沿与肌纤维平行的方向钻取肉样,取样位置距离样品边缘不少于5mm,两个取样边缘间距不少于5mm,剔除有明显缺陷的孔样,每个样本选取6个孔样进行测量。⑤嫩度测定。将样本放置于质构仪的刀槽中央,使肌纤维方向与刀口上下移动的方向垂直,启动肉块剪切程序,设置刀具下行速度为60mm/min,初始力为0.1N,下行距离为25mm,探头返回速度为200mm/min,测得的最大剪切力(峰值),即为孔样的剪切力测定值。分别测得同一样本6个孔样的最大剪切力,取平均值作为该肉样的剪切力。

1.4 肌纤维显微图片的采集

1.4.1 制样

将肉品置于常温下解冻,沿着肌纤维方向取0.5cm×0.5cm×0.5cm的肉块作为样品,样品放入液氮中冻结后装入冻存管中保存并标号,每块肉取3个样品。

1.4.2 切片

切片具体步骤为:①打开冷冻切片机,保持冷冻切片机的温度不变。取出组织支承器,将样品的一

面贴于组织支承器上,放平摆好样品,周边滴上水,速放于冷冻台上。待水冷冻凝固后样品便固定在组织支承器上。②将固定在组织支承器上样品连同组织支承器夹紧于切片器持承器上,启动粗进退键,慢慢转动旋钮,控制刀片进退,将样品表面修平。③调整好要切的厚度,一般在 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ 之间。本试验中将厚度调整为 $8\ \mu\text{m}$ 。④盖上并调整好防卷板,制作牛肉组织的切片。切片时,切出的切片要求能迅速地并且顺利地通过刀片与防卷板间的通道,并且能够平整地没有卷翘地放置在持刀器的铁板上。这时便可掀起防卷板,取一载玻片,将其切片贴于载玻片上,并贴上编号,每个样品取3个切片。

1.4.3 H-E染色

染色之前用蒸馏水润湿已脱蜡并已梯度入水的组织 $1\sim 2\ \text{min}$,甩掉水分,确保蒸馏水润湿整个组织,并均匀分布;核染液(紫红色液体)染色 $5\ \text{min}$ 左右,水洗 $3\sim 5\ \text{s}$;浆染液(红色液体)染色 $10\sim 30\ \text{s}$,用增色液冲洗 $1\sim 2\ \text{s}$,滤纸吸干。

1.4.4 图像采集

将染色后的载玻片在显微镜20倍物镜下观察并拍照,同一个载玻片拍3幅图像。

1.5 肌纤维相关参数的测量

1.5.1 图像处理

由于制片、切片、染色、拍摄过程中不可避免地出现一些误差,所以在进行肌纤维相关参数的测量前,使用Image-Pro Plus软件对肌纤维的显微图片进行预处理。

首先,经染色后,肌纤维颜色与背景颜色有较大的差异,为此,利用Image-Pro Plus软件的选色工具将肌纤维从背景中分割出来;其次,在进行特征参数测量时,二值化图像能更加方便测量,而且便于利用Filter工具对图像的形状进行修饰处理。因此,对选色分割后的图像进行二值化处理;牛肉的显微图像在经过上述处理后,还存在一定的噪声,此外,许多纤维之间还存在着细小的粘连,若直接进行特征参数测量会导致较大误差。为此,先使用Filter工具对图片进行降噪,然后利用close工具,对图像进行腐蚀和膨胀,去除图像中的大尺度噪声,并消除纤维之间存在的细小的粘连;图像修饰完成后,利用软件的计数工具对需要测量的部分进行计数,每个待测量红色区域称为一个感兴趣区域,预处理过程与结果如图1所示。

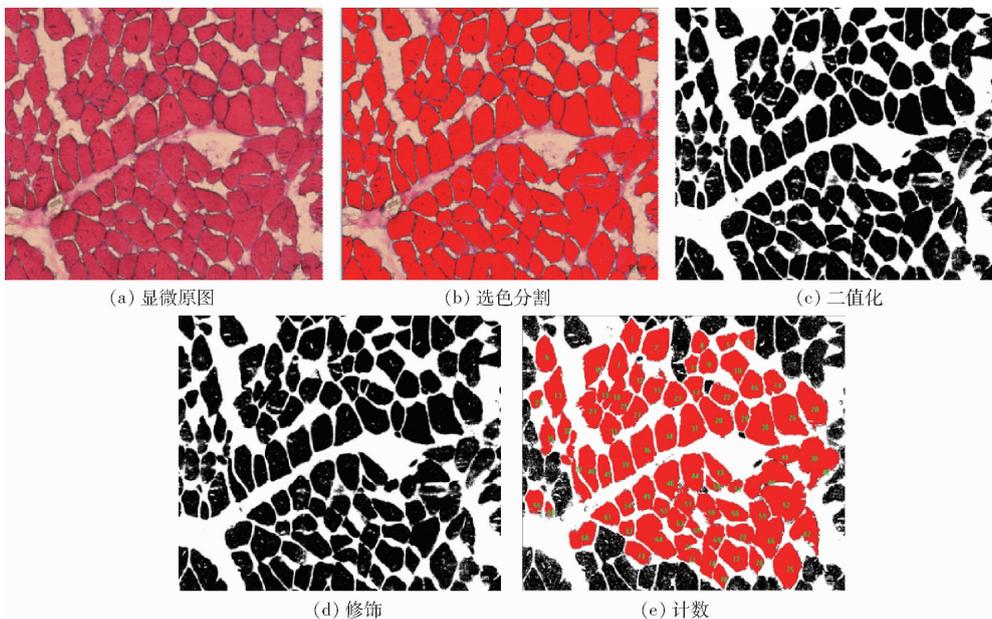


图1 显微图像预处理

Fig.1 Preprocessing of micrographs

1.5.2 肌纤维直径的测量

使用Image-Pro Plus的测量工具对肌纤维的相关特性进行测量。

肌纤维直径的测量方法如下:

由显微图可知,肌纤维截面多呈现非规则的多边形或圆形,如图2所示。为此,需首先找出每个肌纤维区域的图形中心,然后从该中心出发,每隔 2° 向区域两端绘制线段,测量出每个线段的长度,取这

些线段长度的平均值作为该肌纤维的直径。

1.5.3 肌纤维周长的测量

肌纤维周长是指每一个肌纤维的轮廓长度,如图3所示。可以简单通过Image-Pro Plus软件统计计算出边界点的像素点个数,得到一个肌纤维的周长。

1.5.4 肌纤维密度的测量

肌纤维密度是指单位面积内肌纤维的根数,计算公式为

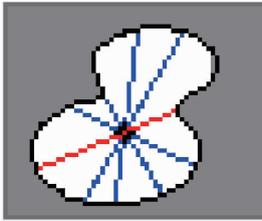


图2 肌纤维直径测量原理图

Fig.2 Principle diagram of muscle fiber diameter measuring

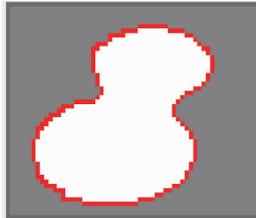


图3 肌纤维周长测量原理图

Fig.3 Principle diagram of muscle fiber perimeter measuring

$$D_i = \frac{N_i}{A_i} \quad (1)$$

式中 D_i ——肌纤维密度

N_i ——视野中完整肌纤维的根数

A_i ——显微镜视野面积

由于本文中显微镜的视野面积相同,因此下文使用视野内肌纤维的根数表示肌纤维的密度(单位:根)。

2 结果与讨论

2.1 不同牛龄牛肉肌纤维直径的变化及其与剪切力的关系

牛肉肌纤维直径随着牛龄的变化而变化。为评估牛龄对肌纤维直径的影响,对不同牛龄牛肉肌纤维直径进行统计分析和方差计算,结果如表1所示。随着牛龄的增加,肌纤维直径呈递增趋势^[24]。

表1 不同牛龄牛肉肌纤维直径统计及方差分析

Tab.1 Muscle fiber diameter values and variance analysis of different physiological ages μm

牛龄/月	均值	最大值	最小值	标准差
18	43.77 ^c	50.90	35.67	3.48
36	45.178 ^{bc}	55.43	34.45	5.07
54	48.44 ^b	55.35	39.56	4.39
72	54.59 ^a	65.44	45.86	5.27

注:同列中不同上标字母表示肌纤维组间对比存在显著性差异($P < 0.05$),下同。

从方差分析可知,18个月牛龄牛肉的肌纤维直径与54个月和72个月的有显著差异,36个月牛龄牛肉的肌纤维直径仅与72个月的有显著差异,54个月牛龄的牛肉肌纤维直径与18个月和72个月的有显著差异,72个月牛龄的牛肉肌纤维直径与其它3个月龄牛肉均有显著差异。这可能是

因为在18个月到36个月之间以及36个月到54个月之间,牛肉肌纤维直径增长相对较缓慢,因此尽管直径有变化,但变化不明显。54个月之后到72个月之间,肌纤维直径增长相对较快,因此,与其它月龄之间的差异变得明显。

用线性模型对牛龄与肌纤维直径之间的变化关系进行回归分析并进行显著性检验,结果表明,牛龄与肌纤维直径之间存在显著的线性关系($P < 0.05$),可描述为

$$y_1 = 39.07 + 0.20x \quad (2)$$

式中 y_1 ——肌纤维直径,mm x ——牛龄

若做出肌纤维直径与剪切力的散点图,结果如图4所示,显然,肌纤维直径与剪切力存在近似的线性关系。相关性分析显示,肌纤维直径与剪切力的相关系数为0.798,极其显著($P < 0.01$),说明随着肌纤维直径的增大,牛肉剪切力将线性增加。这与谌启亮等^[25]在牛肉嫩度相关的研究中同样利用冷冻切片染色以及观察显微图像的方法得出的结论一致。刘正柱等^[26]也在影响牛肉品质的因素及牛肉嫩度的改善方法研究中提出,家畜体型越大肌纤维越粗大,肉嫩度越低。赵改名等^[27]也在研究中得出同样的结论。

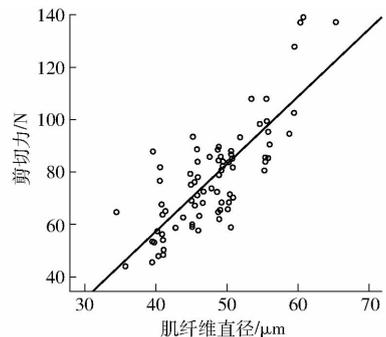


图4 肌纤维直径与剪切力散点图

Fig.4 Scatter plot of muscle fiber diameter and shear stress

2.2 不同牛龄牛肉肌纤维周长的变化及其与剪切力的关系

为评估牛龄对肌纤维周长的影响,对不同牛龄牛肉肌纤维周长进行统计分析和方差计算,结果如表2所示。随着牛龄的增加,肌纤维周长也呈递增趋势。

表2 不同牛龄牛肉肌纤维周长统计及方差分析

Tab.2 Muscle fiber perimeter values and variance analysis of different physiological ages μm

牛龄/月	均值	最大值	最小值	标准差
18	266.55 ^c	310.83	235.97	18.63
36	290.05 ^b	350.49	250.65	23.67
54	306.56 ^b	340.23	253.80	21.49
72	339.95 ^a	398.92	220.22	41.04

从方差分析可知,18个月与36个月、54个月、72个月牛龄的牛肉肌纤维周长差异性均很显著,且牛龄差距越大,显著性越高。36个月与54个月的牛肉肌纤维周长的差异性不显著,与72个月的牛肉肌纤维周长的差异性显著。54个月与72个月的牛肉肌纤维差异性也显著。可能的原因是,18个月到36个月之间,肉牛生长迅速,因此,肌纤维周长增长相对较快,36个月到54个月及以后,肉牛生长相对较慢,因此肌纤维周长增长也相对较慢。

同样地,用线性模型对牛龄与肌纤维周长之间的变化关系进行回归分析及显著性检验,结果表明,牛龄与肌纤维周长之间也存在显著的线性关系($P < 0.05$),可表示为

$$y_2 = 241.6 + 1.315x \quad (3)$$

式中 y_2 ——肌纤维周长, μm

若做出肌纤维周长与剪切力的散点图(图5),肌纤维直径与剪切力之间也存在近似的线性关系。相关性分析显示,肌纤维周长与剪切力的线性相关系数可达0.788,显著性极其显著($P < 0.01$),说明随着肌纤维周长的增大,牛肉剪切力线性增加。

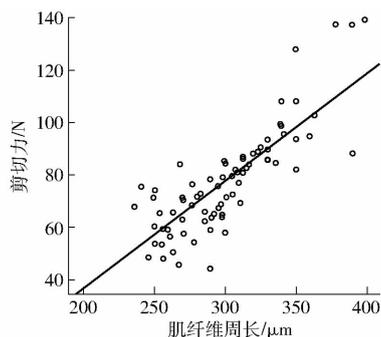


图5 肌纤维周长与剪切力散点图

Fig.5 Scatter plot of muscle fiber perimeter and shear stress

2.3 不同牛龄牛肉肌纤维密度的变化及其与剪切力的关系

对不同牛龄牛肉的肌纤维密度做统计分析及组间方差计算,结果如表3所示。随着牛龄的增加,肌纤维密度逐渐降低。王卫^[28]的研究中也表明,伴随着牛生长过程中肌纤维体积的增大变粗以及脂肪含量与结缔组织随之增多,肌纤维的密度会相对减小。18个月与36个月的牛肉肌纤维密度差异性不显著,18个月与54个月和72个月的牛肉肌纤维密度差异性显著,且牛龄差距越大,差异性越显著,36个月的牛肉肌纤维仅与72个月的差异性显著。这表明,各牛龄之间的肌纤维密度的变化相对不明显。

表3 不同牛龄肌纤维密度统计及方差分析

Tab.3 Muscle fiber density values and variance

analysis of different physiological ages				根
牛龄/月	均值	最大值	最小值	标准差
18	111 ^a	127	67	3.22
36	108 ^{ab}	128	88	2.64
54	98 ^b	125	69	2.78
72	91 ^b	109	60	2.64

线性回归分析及显著性检验表明,牛龄与肌纤维密度之间存在显著的线性关系($P < 0.05$),可表示为

$$y_3 = 119.2 - 0.381x \quad (4)$$

式中 y_3 ——肌纤维密度,根

图6表示了肌纤维密度与剪切力关系,显然,随着肌纤维密度的增大,牛肉剪切力呈下降趋势,二者之间存在近似的线性关系。进一步的相关性分析显示,肌纤维密度与剪切力的线性相关性极其显著($P < 0.01$),因此,随着肌纤维密度的增大,牛肉剪切力线性降低。王卫^[28]在牛肉嫩度智能预测方法研究中也提出,肌纤维密度越密,肌纤维越细,肉质越细嫩,这与试验结论一致。羿庆燕等^[29]在研究不同质量等级延边黄牛肉肌纤维的组织特性中也得出同样结论。

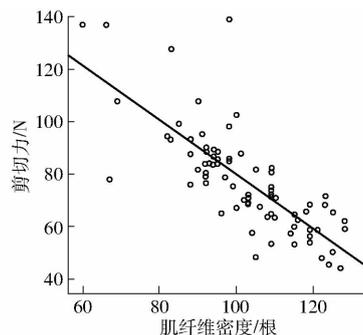


图6 肌纤维密度与剪切力散点图

Fig.6 Scatter plot of muscle fiber density and shear stress

上述的试验研究表明,随着牛龄的增大,即随着肉牛生理成熟度的增加,构成牛肉的基本组织——肌纤维的微观结构会发生显著的变化,这种变化将导致牛肉剪切力随之改变,从而对牛肉的重要品质参数之一——嫩度产生显著的影响。牛龄与肌纤维微观参数之间、肌纤维微观参数与剪切力之间存在明确的线性关系,因此,可以通过对肌纤维微观参数的测定乃至根据牛肉的剪切力,实现对牛肉生理成熟度的预测和判定。

3 结论

(1)牛龄对牛肉肌纤维直径有显著的影响,随着牛龄的增大,牛肉肌纤维直径线性增加;而随着肌

纤维直径的增加,牛肉剪切力将线性增大。

(2)牛龄显著影响牛肉肌纤维周长,随着牛龄的增大,牛肉肌纤维周长线性增加;牛肉肌纤维周长的增加,将导致牛肉剪切力线性增大。

(3)牛肉肌纤维密度受牛龄的影响显著,随着

牛龄的增大,牛肉肌纤维密度将逐步下降;随肌纤维密度的下降,牛肉剪切力线性增加。

(4)牛龄、牛肉肌纤维微观参数及牛肉剪切力之间存在显著的相关性,它们之间的关系,可以用明确的线性模型进行描述。

参 考 文 献

- 1 American Meat Science Association, National Live Stock and Meat Board. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat[M]. Chicago: American Meat Science Association and National Live Stock and Meat Board, 1995.
- 2 BRATZLER L J. Palatability factors and evaluation J F Price & B S Schweigert[J]. The Science of Meat and Meat Products, 1974,13(4): 328-340.
- 3 TAYLOR R G. Meat tenderness: theory and practice[C]//Proceedings of the 49th International Congress of Meat and Science and Technology, 2003: 56-66.
- 4 DAVIS G W, SMITH G C, CARPENTER Z L, et al. Tenderness variations among beef steaks from carcasses of the same USDA quality grade[J]. Journal of Animal Science, 1979,49(1): 103-114.
- 5 CENA P, JAIME I, BELTRAN J A. Postmortem shortening of lamb longissimus oxidative and glycolytic fibers[J]. Journal of Muscle Foods, 1992,3(3): 253-260.
- 6 KLONT R E, BROCKS L, EIKELENBOOM G. Muscle fibre type and meat quality[J]. Meat Science, 1998,49(Supp.): 219-229.
- 7 牛蕾,张志胜,李海鹏,等. 中国西门塔尔牛不同部位肉品质评定[J]. 中国畜牧兽医,2011(3): 219-222.
NIU Lei, ZHANG Zhisheng, LI Haipeng, et al. Quality valuation of the different sites of simmental cattle[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2011(3): 219-222. (in Chinese)
- 8 任秋斌,孙宝忠,郑世学,等. 夏南牛肌肉组织学特性研究[J]. 肉类工业,2011(2): 36-38.
- 9 任秋斌,郑世学,李海鹏,等. 中国西门塔尔牛前肢肌肉组织学和理化特性的研究[J]. 中国畜牧兽医,2011(1): 246-249.
REN Qiubin, ZHENG Shixue, LI Haipeng, et al. Studies on the histological characteristics and physicochemical properties of Chinese simmental's forelimb muscles[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2011(1): 246-249. (in Chinese)
- 10 川井田博,郁明发. 猪肉肌纤维粗细与肉质的关系[J]. 国外畜牧学:猪与禽,1983(3): 51-54.
- 11 曾勇庆,孙玉民,张万福,等. 莱芜猪肌肉组织学特性与肉质关系的研究[J]. 畜牧兽医学报,1998, 29(6): 486-492.
ZENG Yongqing, SUN Yumin, ZHANG Wanfu, et al. Studies on relationship of muscle histological characteristics to meat quality of Laiwu swine[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 1998, 29(6): 486-492. (in Chinese)
- 12 吴德,杨凤,周安国,等. 不同比例梅山猪血缘生长育肥猪肉质及肌纤维组织学特性研究[J]. 四川农业大学学报,2001, 19(3): 252-255.
WU De, YANG Feng, ZHOU Anguo, et al. Effect of Meishan consanguinity in crossbred pigs on meat quality and muscle fiber character[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2001, 19(3): 252-255. (in Chinese)
- 13 朱砺,李学伟,李芳琼,等. 肌纤维生长发育规律的研究[J]. 四川农业大学学报,2002, 20(1): 47-48.
ZHU Li, LI Xuewei, LI Fangqiong, et al. Study on the growth of muscle fiber[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2002, 20(1): 47-48. (in Chinese)
- 14 季跃光,王乐,孔艳丽,等. 新疆黑猪及其杂种猪的肉质分析[J]. 养猪,2003(3): 24-25.
- 15 谭毓平,吴买生,易建军,等. 沙子岭猪肉质性状与肉的成分测定[J]. 家畜生态,2004, 25(1): 17-19.
TAN Yuping, WU Maisheng, YI Jianjun, et al. Determination of meat quality characters and composition of Shaziling pig[J]. Ecology of Domestic Animal, 2004, 25(1): 17-19. (in Chinese)
- 16 孙竹珑. 藏山羊肌肉组织学特性研究[J]. 西南民族学院学报:自然科学版,1991(3): 48-54.
SUN Zhulong. Study on the histological character of muscle in Tibetan goat[J]. Journal of Southwest University for Nationalities: Natural Science, 1991(3): 48-54. (in Chinese)
- 17 吴信生,陈国宏,陈宽维,等. 中国部分地方鸡种肌肉组织学特点及其肉品质的比较研究[J]. 江苏农学院学报,1998, 9(4): 52-58.
WU Xinsheng, CHEN Guohong, CHEN Kuanwei, et al. Comparison on histologic characteristics of muscle and muscle quality in Chinese native chickens[J]. Journal of Jiangsu Agricultural College, 1998, 9(4): 52-58. (in Chinese)
- 18 王亚鸣,刘龙芳. 江西玉山猪肌肉组织学特征与肉质的关系[J]. 江西农业大学学报,1994, 16(3): 284-287.
WANG Yaming, LIU Longfang. The relation between muscular histological character and meat quality of Yushan swine in Jiangxi province[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 1994, 16(3): 284-287. (in Chinese)
- 19 沈元新,徐继初. 金华猪及其杂种肌肉组织学特性与肉质的关系[J]. 浙江农业大学学报,1984, 10(3): 265-272.
SHEN Yuanxin, XU Jichu. The relationship between the muscle tissue characteristics of Jinhua swine and its hybrid and its meat quality[J]. Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis, 1984, 10(3): 265-272. (in Chinese)

- 20 陈骋,韩玲,余群力,等. 冻融对牦牛肉色、微观结构和蛋白质降解的影响[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(10):290-297. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20151039&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.10.039.
CHEN Cheng, HAN Ling, YU Qunli, et al. Impact of freeze-thaw cycles on color, microstructure and protein degradation of yak meat[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(10):290-297. (in Chinese)
- 21 孙竹珑,钟光辉. 九龙牦牛肌肉组织学特性研究(初报)[J]. 西南民族学院学报:自然科学版,1990(3):31-36.
SUN Zhulong, ZHONG Guanghui. Study on the histological characters of muscle in Jiulong yak[J]. Journal of Southwest University Nationalities: Natural Science, 1990(3):31-36. (in Chinese)
- 22 杨博辉,姚军,王敏强,等. 大通牦牛肌肉纤维组织学特性研究[J]. 中国草食动物,2001,3(5):34-35.
- 23 中华人民共和国农业部. 肉嫩度的测定 剪切力测定法:NY/T 1180—2006[S]. 北京:中国农业出版社,2006.
- 24 汤晓艳,周光宏,徐幸莲. 大理石花纹、生理成熟度对牛肉品质的影响[J]. 食品科学,2006,27(12):114-117.
TANG Xiaoyan, ZHOU Guanghong, XU Xinglian. Study on effect of marbling and physiological maturity degree on meat quality of crossbred yellow cattle[J]. Food Science,2006,27(12):114-117. (in Chinese)
- 25 湛启亮,彭增起,沈明霞,等. 牛肉肌纤维直径和结缔组织含量与嫩度相关性研究[J]. 食品科学,2012,33(13):126-129.
CHEN Qiliang, PENG Zengqi, SHEN Mingxia, et al. Correlation between beef tenderness and fiber diameter or connective tissue content[J]. Food Science, 2012,33(13):126-129. (in Chinese)
- 26 刘正柱,董辉. 影响牛肉品质的因素及牛肉嫩度的改善方法[J]. 山东畜牧兽医,2013,34(8):19-20.
- 27 赵改名,王艳玲,田玮. 影响牛肉嫩度的因素及其机制[J]. 国外畜牧科技,2000(2):35-40.
ZHAO Gaiming, WANG Yanling, TIAN Wei. Factors and their mechanism influencing beef tenderness[J]. Animal Science Abroad,2000(2):35-40. (in Chinese)
- 28 王卫. 基于图像纹理和大理石花纹特征的牛肉嫩度智能预测方法研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
WANG Wei. Study of the intelligent prediction method of beef tenderness based on image texture features and the marble characteristics[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University,2011. (in Chinese)
- 29 羿庆燕,董玉影,李官浩,等. 不同质量等级延边黄牛肌肉纤维的组织特性[J]. 肉类研究,2013,27(6):10-13.
YI Qingyan, DONG Yuying, LI Guanhao, et al. Muscle fiber characteristics of beef samples of Yanbian yellow cattle from different quality grades[J]. Meat Research, 2013,27(6):10-13. (in Chinese)