

# 沃金黑牛母牛与阉公牛牛肉品质比较及影响因素分析

刘丽宅<sup>#</sup>, 瞿子惠<sup>#</sup>, 刘洪亮, 王 蕾, 王多伽, 金香淑, 赵玉民<sup>\*</sup>

(吉林省农业科学院/农业农村部肉牛遗传育种重点实验室, 长春 130033)

**摘要: 目的** 对比沃金黑牛母牛与阉公牛牛肉品质, 分析其影响因素。**方法** 随机选取 18 头健康、无病、发育正常的 30 个月龄沃金黑牛(母牛 9 头, 阉公牛 9 头)为研究对象, 测定其背最长肌的水分、粗蛋白、肌内脂肪、氨基酸、脂肪酸、质构特性, 并基于主成分分析考察影响沃金黑牛肉肉质的因素。**结果** 母牛和阉公牛牛肉的水分、粗蛋白、肌内脂肪以及各氨基酸含量无显著差异( $P>0.05$ )。母牛牛肉必需氨基酸(essential amino acid, EAA)/总氨基酸(total amino acid, TAA)为 39.74%, 阉公牛 EAA/TAA 为 39.83%, 符合联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)的理想模式。母牛和阉公牛牛肉氨基酸评分(amino acid score, AAS)接近 1, 化学评分(chemical score, CS)与标准蛋白的组成还有一定差距。母牛牛肉单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)含量极显著低于阉公牛( $P<0.01$ ), 而多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)含量显著高于阉公牛( $P<0.05$ )。母牛牛肉 MUFA:饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)极显著低于阉公牛( $P<0.01$ ), PUFA:SFA 显著高于阉公牛( $P<0.05$ )。母牛和阉公牛各质构指标均无显著差异, 咀嚼度、黏性、硬度、黏合力为影响肉质的主要因素, 且质构指标优先性强于营养指标。**结论** 阉公牛脂肪酸含量与母牛差异显著, 水分含量、粗蛋白含量、粗脂肪含量、氨基酸含量与组成、质构指标之间差异均不显著。质构指标比营养指标更能影响沃金黑牛肉的品质。

**关键词:** 沃金黑牛; 营养成分; 氨基酸; 脂肪酸; 质构特性; 主成分分析

## Meat quality comparison and influencing factors analysis of female cattle and steers of Woking black cattle

LIU Li-Zhai<sup>#</sup>, QU Zi-Hui<sup>#</sup>, LIU Hong-Liang, WANG Lei, WANG Duo-Jia,  
JIN Xiang-Shu, ZHAO Yu-Min<sup>\*</sup>

(Jilin Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Beef Cattle Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Changchun 130033, China)

**ABSTRACT: Objective** To compare the meat quality of female cattle and steers of Woking black cattle, and analyze its influencing factors. **Methods** A total of 18 healthy, well-developed and normal 30-month-old Woking

**基金项目:** 国家肉牛牦牛产业技术体系项目(CARS-37)、吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2021ZYD123)

**Fund:** Supported by the National Beef Yaks Industry Technology System Project (CARS-37), and the Jilin Province Agricultural Science and Technology Innovation Project (CXGC2021ZYD123)

<sup>#</sup>刘丽宅、瞿子惠为共同第一作者

<sup>#</sup>LIU Li-Zhai and QU Zi-Hui are Co-first Authors

**\*通信作者:** 赵玉民, 研究员, 主要研究方向为牛遗传育种研究。E-mail: zhaoyu-min@vip.163.com

**\*Corresponding author:** ZHAO Yu-Min, Professor, Jilin Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Beef Cattle Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Changchun 130033, China. E-mail: zhaoyu-min@vip.163.com

black cattle (9 female cattle and 9 steers) were randomly selected as the experimental objects, the moisture content, crude protein, intramuscular fat, amino acid, fatty acid, texture characteristics of the longissimus dorsi were determined. Then, the factors affecting beef quality of Woking black cattle were confirmed based on principal component analysis. **Results** There were no significant differences for the moisture, crude protein, intramuscular fat and amino acids of beef between the female cattle and the steer ( $P>0.05$ ). The essential amino acid (EAA)/total amino acid (TAA) of the female cattle beef was 39.74%, the EAA/TAA of the steer was 39.83%, which all met the Food and Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO) standard. The amino acid scores (AAS) of female cattle and steer were all close to 1, there was still a gap between the chemical scores (CS) of the beef samples and the composition of standard protein. The content of monounsaturated fatty acid (MUFA) in female cattle beef was significantly lower than steer ( $P<0.01$ ), and the content of polyunsaturated fatty acid (PUFA) in female cattle was significantly higher than steer ( $P<0.05$ ). The MUFA:saturated fatty acid (SFA) of the female cattle was significantly lower than steer ( $P<0.01$ ), and the PUFA:SFA of the female cattle was significantly higher than steer ( $P<0.05$ ). There were no significant differences for texture characteristics, chewiness, viscosity, hardness and adhesion were found to be the most important factors affecting the meat quality, the priority of texture index was higher than nutrition index. **Conclusion** The fatty acid composition of steer is significantly different from female cattle. There are no significant differences for the moisture, crude protein, intramuscular fat, amino acids content and composition, and texture characteristics of beef between the female cattle and the steers. Texture characteristics can affect the meat quality of Woking black cattle more than nutrition index.

**KEY WORDS:** Woking black cattle; nutritional composition; amino acid; fatty acid; texture characteristics; principal components analysis

## 0 引言

沃金黑牛(Woking black cattle)是以引进黑毛和牛为父本,以延边牛为母本经级进杂交、横交固定(黑毛和牛 3/4 血统)、自群选育提高而形成的具备生产高档雪花牛肉能力的新种群<sup>[1-2]</sup>。牛肉品质受多种因素的影响,其中性别是影响牛肉品质的重要因素,不同性别牛所分泌的性激素水平不同,导致所产牛肉品质不一<sup>[3]</sup>。将沃金黑牛断奶公犊牛阉割后,育肥至 30 月龄,体重超过母牛,可以有效缩短生产大理石纹牛肉的育肥时间。研究显示,母牛牛肉中饱和脂肪酸含量要低于公牛牛肉<sup>[4]</sup>,阉公牛牛肉品质优于母牛,母牛牛肉品质优于公牛肉质<sup>[5]</sup>,阉公牛肉质最佳,母牛牛肉嫩度和营养价值最高<sup>[6]</sup>。因此,目前国内外高档牛肉的生产主要以阉公牛和母牛为主。目前,国内众多学者虽构建了多层次的肉牛质量属性评价体系<sup>[7-8]</sup>,但国内仅见一篇关于沃金黑牛眼肌部位肉鲜味品质等级评价的研究报道<sup>[9]</sup>,有关沃金黑牛的肉质营养成分、质构特性及品质评价方面还未见全面系统的报道,因此从多个测量指标中形成一套适用于沃金黑牛牛肉的综合品质评价指标体系十分必要。

主成分分析(principal component analysis, PCA)是利用变量间的相关关系,去除重叠信息,将原始变量缩减成不相关的少数几个综合变量,并保留了原始变量的主要信息的方法,是一种同时对多变量进行降维、简化、定量分

析的方法<sup>[10-11]</sup>,使得在分析复杂问题时便于找出主要影响因素,已广泛应用在肉品质分析中<sup>[12-14]</sup>,因此,本研究选择 PCA 作为综合评价沃金黑牛肉的方法。本研究以沃金黑牛母牛与阉公牛背最长肌为研究对象,对其水分含量、粗脂肪和粗蛋白含量、氨基酸和脂肪酸含量及组成、肉质构特性进行测定,采用 PCA 法对影响沃金黑牛肉质的因素进行分析,为今后针对性研究沃金黑牛肉加工提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

沃金黑牛选自吉林省长春皓月清真肉业股份公司。随机选取发育正常、健康、无病的 30 月龄的沃金黑牛母牛 9 头、阉公牛 9 头共 18 头进行屠宰。试样牛屠宰前均按照 GB/T 19477—2018《畜禽屠宰操作规程 牛》禁食 24 h、禁水 3 h 后处理,宰后 20 min 均取倒数第 1 腰椎第 12 胸椎或第 13 胸椎之间的背最长肌,取肉样约 1 kg,置于洁净的自封袋中,4℃冷藏保存,备用。

37 种脂肪酸甲酯混合标准品(纯度 99.4%~99.8%,上海安谱实验科技股份有限公司)、正亮氨酸(纯度>98%,美国 Sigma 公司)、硫酸钾、硫酸铜、浓盐酸、浓硫酸、石油醚、硼酸、溴甲酚绿、甲基红、 $\beta$ -巯基乙醇、甲醇钠、柠檬酸钠、柠檬酸、甲酸、氢氧化钠、茚三酮、苯酚(分析纯)、正己烷、甲醇(色谱纯)(吉林省金泰石化有限公司)。

## 1.2 仪器与设备

XS105DU 电子天平[感量 0.0001 g, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; DHG-9123A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); Kjeltac 8400 全自动凯氏定氮仪(上海技越国际贸易有限公司); 7890A(FPD)气相色谱仪(美国安捷伦公司); S-433D 全自动氨基酸分析仪(德国塞卡姆公司); HSC-24B 氮吹浓缩装置(天津恒奥科技有限公司); LLOYTA1 质构分析仪[云谱仪器(上海)有限公司]。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 常规指标的测定

水分测定参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法; 粗蛋白测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法; 粗脂肪测定参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法。

### 1.3.2 氨基酸测定与营养价值评估

将 65°C 烘干后的牛肉磨碎, 制成肉粉。称取约 0.03 g 肉粉样品于水解管中, 加入 200  $\mu$ L 正亮氨酸内标溶液、10 mL 6 mol/L 盐酸溶液、100  $\mu$ L  $\beta$ -巯基乙醇, 密封水解管后放入 110°C 烘箱中水解 24 h。取出水解管, 冷却。吸取 300  $\mu$ L 水解液于试管中, 用氮吹仪吹干液体, 加入 3 mL 样品稀释液, 涡旋混合 15 s, 经 0.22  $\mu$ m 有机系滤膜过滤, 滤液为试样, 采用内标法测定试样中氨基酸含量。将所测样品中的氨基酸含量换算成每克氮中所含氨基酸的毫克数, 再与鸡蛋蛋白质的氨基酸模式和联合国粮食及农业组织/世界卫生组织 (Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO) 提出的 8 种必需氨基酸模式标准进行比较, 计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)<sup>[15]</sup>。

### 1.3.3 脂肪酸测定

称取约 0.1 g 肉粉样品, 加入 2 mL 甲醇钠溶液, 放入水浴锅(30°C)水解 30 min, 取出加 5 mL 正己烷, 涡旋混合 1 min, 静置至试管内混合液澄清, 吸取上清液, 重复以上操作, 合并两次滤液, 上清液经 0.22  $\mu$ m 有机系滤膜过滤, 滤液为试样。根据脂肪酸甲酯标准品的相对保留时间鉴定脂肪酸, 利用峰面积归一化法确定各脂肪酸相对百分含量。

### 1.3.4 质构特性测定

质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA)是研究食品质构特性最常用的一种方法<sup>[16-17]</sup>。TPA 的测定过程是模仿人口腔咀嚼食物的过程, 通过对探头运动过程中受到的力和时间的图谱进行分析, 可以得到硬度、弹性、凝聚性等质构指标<sup>[18-19]</sup>。测试部位选择表面相对平整、质构相对均匀的肉块, 切割成 80 mm×80 mm×10 mm 规格, 被测试部位的表面积为 80 mm×80 mm。采用 FG/SCY2 探头, 每个条件平行测定 6 个点, 去掉最大值与最小值, 求得平均值。参考重庆利等<sup>[20]</sup>、金曼等<sup>[21]</sup>和赵家艺等<sup>[22]</sup>测试条件, 将测试条件设置

为: 负载 5 gf, 测前速度 2.0 mm/s; 测中速度 1.0 mm/s; 测后速度 1.0 mm/s; 两次下压间隔时间 5 s; 压缩比 50%。

## 1.4 数据处理

用 WPS 2019 整理数据, 显著性分析、相关性分析、PCA 均采用 SPSS17.0 软件, 结果用平均值±标准偏差表示。显著性检验采用单因素方差分析, 采用 Duncan's 法进行多重比较, 双变量分析相关性, 采用因子分析进行主成分分析, 以  $P < 0.05$  为差异显著, 以  $P < 0.01$  为差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 常规指标

由表 1 可知, 沃金黑牛牛肉和阉公牛牛肉的平均水分含量、粗蛋白含量和肌肉脂肪含量均无显著差异( $P > 0.05$ )。母牛、阉公牛的平均水分含量均在 50% 左右, 低于 GB 18394—2020《畜禽肉水分限量》规定的牛肉水分含量最高为 78% 的限量标准。沃金黑牛牛肉的粗蛋白平均含量高于延边黄牛(17.53%)<sup>[23]</sup>, 低于三江牛平牛肉(19.63%)<sup>[24]</sup>, 草原红牛背最长肌(23.56%)<sup>[25]</sup>和牛杂交牛牛肉(20.31%)<sup>[26]</sup>, 与西门塔尔牛牛肉(18.60%)<sup>[26]</sup>相当, 说明沃金黑牛粗蛋白含量不高。肌肉的肌肉脂肪含量与肉品质关系密切<sup>[27]</sup>, 肌肉的肌肉脂肪越多, 肉的多汁性越好, 风味也越好。母牛肌肉粗脂肪平均含量低于阉公牛, 未达到显著水平( $P > 0.05$ ), 但两者均远高于三江牛雪花牛肉(17.53%)<sup>[23]</sup>、延边黄牛肉(7.92%)、草原红牛背最长肌(3.69%)<sup>[25]</sup>、牛杂交牛牛肉(7.79%)和西门塔尔牛牛肉(1.81%)<sup>[26]</sup>, 说明沃金黑牛肌肉脂肪含量处于较高水平, 暗示其肉质风味较好, 能满足市场对高档牛肉的需求。

表 1 沃金黑牛牛肉常规指标测定结果( $n=3$ )  
Table 1 Determination results of routine indexes of Woking black cattle beef ( $n=3$ )

营养指标	母牛	阉公牛	$P$
水分/%	55.87±5.4 <sup>a</sup>	51.84±4.13 <sup>a</sup>	0.107
粗蛋白/%	18.04±0.84 <sup>a</sup>	17.96±0.59 <sup>a</sup>	0.084
肌肉脂肪/%	21.97±4.45 <sup>a</sup>	25.33±3.90 <sup>a</sup>	0.121

注: 同行小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。

### 2.2 沃金黑牛牛肉氨基酸

由表 2 可知, 沃金黑牛氨基酸含量较为丰富, 母牛和阉公牛牛肉氨基酸组成相同, 均检出 16 种氨基酸。母牛和阉公牛氨基酸含量差别较小, 各氨基酸含量均无显著差异( $P > 0.05$ )。母牛和阉公牛牛肉总氨基酸(total amino acid, TAA)含量分别为 16.33 和 16.36 g/100 g, 必需氨基酸(essential amino acid, EAA)含量分别为 6.49 和 6.51 g/100 g。FAO/WHO 标准推荐的理想氨基酸模式中 EAA/TAA、EAA/非必需氨基酸(non-essential amino acids, NEAA)分别为 40%、60%, 母牛牛肉 EAA/TAA、EAA/NEAA 分别为

39.74%、65.96%, 阉公牛牛肉 EAA/TAA、EAA/NTAA 分别为 39.83%、66.19%, 分别接近和略高于 FAO/WHO 的理想模式, 说明沃金黑牛肉氨基酸组成模式较好。值得注意的是, 母牛和阉公牛牛肉中, 含量较高的 3 种氨基酸均依次是 Glu、Asp、Lys, Glu、Asp 为鲜味氨基酸<sup>[28]</sup>, Lys 为甜味氨基酸<sup>[29]</sup>, 3 种氨基酸可赋予沃金黑牛肉鲜美的呈味特性。肌肉中雪花状脂肪沉积越好, 呈味氨基酸相对含量越高<sup>[29]</sup>。沃金黑牛脂肪沉积多, 滋味更鲜美, 且母牛和阉公牛牛肉呈味氨基酸含量差异均不显著, 品质无差异。

表 2 沃金黑牛牛肉氨基酸含量( $n=3$ , g/100 g)  
Table 2 Amino acid content of Woking black cattle beef  
( $n=3$ , g/100 g)

氨基酸	母牛牛肉	阉公牛牛肉	<i>P</i>
天冬氨酸(Asp)	1.59±0.08 <sup>a</sup>	1.59±0.06 <sup>a</sup>	0.976
苏氨酸(Thr)	0.80±0.05 <sup>a</sup>	0.80±0.03 <sup>a</sup>	0.758
丝氨酸(Ser)	0.69±0.04 <sup>a</sup>	0.68±0.03 <sup>a</sup>	0.622
谷氨酸(Glu)	2.91±0.15 <sup>a</sup>	2.91±0.12 <sup>a</sup>	0.984
脯氨酸(Pro)	0.47±0.03 <sup>a</sup>	0.45±0.02 <sup>a</sup>	0.056
甘氨酸(Gly)	0.76±0.04 <sup>a</sup>	0.75±0.03 <sup>a</sup>	0.501
丙氨酸(Ala)	0.99±0.05 <sup>a</sup>	0.98±0.04 <sup>a</sup>	0.651
缬氨酸(Val)	0.85±0.04 <sup>a</sup>	0.85±0.03 <sup>a</sup>	0.908
蛋氨酸(Met)	0.41±0.02 <sup>a</sup>	0.41±0.02 <sup>a</sup>	0.819
异亮氨酸(Ile)	0.81±0.05 <sup>a</sup>	0.80±0.03 <sup>a</sup>	0.640
亮氨酸(Leu)	1.44±0.08 <sup>a</sup>	1.44±0.05 <sup>a</sup>	0.967
酪氨酸(Tyr)	0.64±0.04 <sup>a</sup>	0.65±0.03 <sup>a</sup>	0.299
苯丙氨酸(Phe)	0.67±0.04 <sup>a</sup>	0.67±0.03 <sup>a</sup>	0.994
组氨酸(His)	0.79±0.05 <sup>a</sup>	0.80±0.04 <sup>a</sup>	0.752
赖氨酸(Lys)	1.51±0.08 <sup>a</sup>	1.55±0.06 <sup>a</sup>	0.328
精氨酸(Arg)	1.00±0.06 <sup>a</sup>	1.03±0.04 <sup>a</sup>	0.434
氨基酸总量(TAA)	16.33±0.84 <sup>a</sup>	16.36±0.60 <sup>a</sup>	0.936
必需氨基酸(EAA)	6.49±0.34 <sup>a</sup>	6.51±0.23 <sup>a</sup>	0.864
非必需氨基(NEAA)	9.50±1.24 <sup>a</sup>	9.84±0.36 <sup>a</sup>	0.467
EAA/TAA	39.74±0.12 <sup>a</sup>	39.83±0.11 <sup>a</sup>	0.158
EAA/NTAA	65.96±0.34 <sup>a</sup>	66.19±0.31 <sup>a</sup>	0.158

由表 3 可知, 母牛和阉公牛牛肉必需氨基酸中, 除 Val 含量外, 其他必需氨基酸含量均高于 FAO/WHO 标准。除 Lys 含量外, 其余必需氨基酸均低于鸡蛋蛋白标准。AAS 值越接近 1, 与评分模式氨基酸组成越接近, 蛋白质营养价值就越高<sup>[21]</sup>, 除 Val 外(但也接近 1), 两种牛肉的必需氨基酸 AAS 评分均超过 1 分, 这说明母牛和阉公牛必需氨基酸组成合理, 营养价值较高。CS 值越接近 1, 与标准蛋白的组成越接近, 营养价值越高<sup>[30]</sup>, 除 Lys 外, 两种牛肉的必需氨基酸 Thr、Leu 的 CS 评分均低于 1, 说明沃金黑牛牛肉蛋白营养与标准蛋白还有一定差距。

### 2.3 沃金黑牛牛肉脂肪酸

脂肪酸的种类决定肌内脂肪组织的理化性质、影响肉的风味, 是评定营养价值高低的重要指标之一<sup>[26]</sup>。由表 4 可知, 母牛牛肉中共检出 12 种脂肪酸, 包括 5 种饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)和 7 种不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA), 其中不饱和脂肪酸包括 5 种单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和 2 种多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)。阉公牛共检出 13 种脂肪酸, 比母牛牛肉多一种 PUFA, 即亚麻酸(C18:3n-3)。母牛牛肉亚油酸(C18:2n-6)、花生四烯酸(C20:4n-6)相对百分含量显著高于阉公牛( $P<0.05$ ), 而油酸(C18:1n-9c)相对百分含量极显著低于阉公牛( $P<0.01$ ), 其余脂肪酸相对百分含量均无显著差异( $P>0.05$ )。

SFA 中含量最高是棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0), SFA 会增加血液中低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)的含量, 在人体的心血管疾病方面具有潜在危险<sup>[31]</sup>, 母牛牛肉 SFA 棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0)相对百分含量均高于阉公牛。UFA 含量高可改善牛肉风味, 同时其具有降低机体胆固醇含量的功效<sup>[32]</sup>。母牛 MUFA 相对百分含量极显著低于阉公牛( $P<0.01$ ), 这与阉公牛牛肉油酸(C18:1n-9c)相对百分含量极显著高于母牛有关, 油酸(C18:1n-9c)是主要的 MUFA, 可较好地改善牛肉的风味, 是肉品中主要的 UFA<sup>[33]</sup>, MUFA 的生理功能也主要体现于油酸(C18:1n-9c)<sup>[34]</sup>。日本和牛因其牛肉中油酸的含量较多而呈现良好的风味<sup>[32]</sup>。总而言之, 两种牛肉的油酸(C18:1n-9c)相对百分含量均较高, 说明阉公牛和母牛牛肉均具有较好的风味。

表 3 必需氨基酸含量评价  
Table 3 Evaluation of EAA content

EAA	FAO/WHO	鸡蛋蛋白	母牛牛肉			阉公牛牛肉		
			含量/(mg/g N)	AAS	CS	含量/(mg/g N)	AAS	CS
Thr	250	292	277±5.13	1.11±0.02	0.95±0.02	277±3.25	1.11±0.01	0.95±0.01
Val	310	441	295±3.53	0.95±0.01	0.67±0.01	296±2.91	0.95±0.01	0.67±0.01
Ile	250	331	280±3.56	1.12±0.01	0.85±0.01	279±1.13	1.12±0.00	0.84±0.00
Leu	440	534	498±4.77	1.13±0.01	0.93±0.01	500±2.79	1.14±0.01	0.94±0.01
Phe+Tyr	380	565	452±9.03	1.19±0.02	0.80±0.02	460±6.45	1.21±0.02	0.81±0.01
Lys	340	441	524±9.38	1.54±0.03	1.19±0.02	539±4.10	1.58±0.01	1.22±0.01

多不饱和脂肪酸主要由 n-3 和 n-6 系, 本研究测得 n-6 系 PUFAs 包括亚油酸(C18:2n-6)和花生四烯酸(C20:4n6); n-3 系 PUFAs 包括亚麻酸(C18:3n-3)。亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸是人体不能合成的必需脂肪酸, 在新陈代谢和生长发育过程中起重要作用, 母牛肉中未检出亚麻酸(C18:3n-3), 而阉公牛肉中亚麻酸(C18:3n-3)相对百分含量为 0.32%。另外, 母牛肉 UFA:SFA 显著低于阉公牛 ( $P<0.05$ )、MUFA:SFA 极显著低于阉公牛 ( $P<0.01$ ), 母牛肉 PUFA:SFA 显著高于阉公牛 ( $P<0.05$ )。PUFA:SFA 是衡量膳食中脂肪酸营养价值的重要指标, FAO/WHO 推荐 PUFA:SFA 高于 0.40, 而本研究母牛、阉公牛牛肉的 PUFA:SFA 均低于 0.20, 与合理营养推荐值 0.40 还有一定距离, 事实上, PUFA:SFA 较低是畜肉产品的共性, 有可能引起人体摄入的脂肪酸比例失衡<sup>[35]</sup>。

表 4 沃金黑牛牛肉脂肪酸含量( $n=3$ , %)  
Table 4 Fatty acid compositions of Woking black cattle beef ( $n=3$ , %)

脂肪酸	母牛牛肉	阉公牛牛肉	<i>P</i>
肉豆蔻酸(C14:0)	2.60±0.41 <sup>a</sup>	2.28±0.39 <sup>a</sup>	0.120
肉豆蔻烯酸(C14:1)	0.49±0.10 <sup>a</sup>	0.52±0.19 <sup>a</sup>	0.729
十五烷酸(C15:0)	0.32±0.05 <sup>a</sup>	0.27±0.05 <sup>a</sup>	0.105
顺-10-十五碳烯酸(C15:1)	0.29±0.04 <sup>a</sup>	0.28±0.07 <sup>a</sup>	0.599
棕榈酸(C16:0)	29.03±1.56 <sup>a</sup>	28.47±1.12 <sup>a</sup>	0.414
棕榈油酸(C16:1)	3.58±0.71 <sup>a</sup>	3.67±0.63 <sup>a</sup>	0.793
十七烷酸(C17:0)	0.59±0.13 <sup>a</sup>	0.66±0.07 <sup>a</sup>	0.253
顺-10-十七碳烯酸(C17:1)	0.67±0.12 <sup>a</sup>	0.67±0.09 <sup>a</sup>	0.977
硬脂酸(C18:0)	16.71±1.65 <sup>a</sup>	15.71±2.16 <sup>a</sup>	0.301
油酸(C18:1n-9c)	38.58±1.78 <sup>A</sup>	42.39±1.77 <sup>B</sup>	0.001
亚油酸(C18:2n-6)	5.82±1.69 <sup>a</sup>	4.10±1.08 <sup>b</sup>	0.027
亚麻酸(C18:3n-3)	-	0.32±0.06	-
花生四烯酸(C20:4n-6)	1.32±0.40 <sup>a</sup>	0.82±0.37 <sup>b</sup>	0.019
饱和脂肪酸(SFA)	49.25±1.49 <sup>a</sup>	47.40±1.07 <sup>b</sup>	0.011
不饱和脂肪酸(UFA)	50.75±1.49 <sup>a</sup>	52.60±1.07 <sup>b</sup>	0.011
单不饱和脂肪酸(MUFA)	43.61±2.19 <sup>A</sup>	47.52±2.21 <sup>B</sup>	0.002
多不饱和脂肪酸(PUFA)	7.13±2.08 <sup>a</sup>	5.08±1.30 <sup>b</sup>	0.029
UFA:SFA	1.03±0.06 <sup>a</sup>	1.11±0.05 <sup>b</sup>	0.011
MUFA:SFA	0.89±0.06 <sup>A</sup>	1.00±0.07 <sup>B</sup>	0.002
PUFA:SFA	0.15±0.04 <sup>a</sup>	0.11±0.03 <sup>b</sup>	0.044

注: 同行大写字母不同表示差异极显著 ( $P<0.01$ ); -表示未检出。

## 2.4 沃金黑牛牛肉质构特性

肉的硬度、弹性、咀嚼度等质构特性与外观、风味、营养成分、感官评价相关<sup>[36-37]</sup>, 质构特性直接关系到肉的嫩度、口感、可食性和加工特性<sup>[38]</sup>。由表 5 可知, 阉公牛牛肉黏合力、凝聚性、弹性、黏结性、黏性、咀嚼度、硬度均略大于母牛, 但各质构指标之间均无显著差异

( $P>0.05$ ), 表明沃金黑牛母牛和阉公牛在质构品质上没有明显差别。肌肉的质构特性与其水分和脂肪含量有关, 高水分含量和高脂肪含量会使牛肉的机械强度降低<sup>[39]</sup>。本研究中沃金黑牛母牛和阉公牛水分含量和肌肉脂肪含量差异不显著, 因此表现出沃金黑牛母牛和阉公牛在质构品质上没有明显差别, 加工特性等无明显差异。沃金黑牛肌肉脂肪含量处于较高水平, 说明牛肉肌肉组织更易咀嚼, 肉质嫩度更好。

表 5 沃金黑牛牛肉质构特性( $n=6$ )  
Table 5 Texture characteristics of Woking black cattle beef ( $n=6$ )

质构指标	母牛牛肉	阉公牛牛肉	<i>P</i>
黏合力/N	0.23±0.11 <sup>a</sup>	0.25±0.11 <sup>a</sup>	0.749
凝聚性	0.46±0.04 <sup>a</sup>	0.48±0.07 <sup>a</sup>	0.531
弹性	0.64±0.04 <sup>a</sup>	0.64±0.03 <sup>a</sup>	0.756
黏结性/N	-0.25±0.12 <sup>a</sup>	-0.26±0.12 <sup>a</sup>	0.860
黏性/N	26.95±18.32 <sup>a</sup>	28.57±20.19 <sup>a</sup>	0.865
咀嚼度/N	17.47±12.31 <sup>a</sup>	18.43±12.92 <sup>a</sup>	0.877
硬度/N	11.64±7.09 <sup>a</sup>	12.56±6.65 <sup>a</sup>	0.788

## 2.5 主成分分析

选取与沃金黑牛肉品质相关的水分( $X_1$ )、粗蛋白( $X_2$ )、粗脂肪( $X_3$ )、必需氨基酸( $X_4$ )、多不饱和脂肪酸( $X_5$ )、黏合力( $X_6$ )、凝聚性( $X_7$ )、弹性( $X_8$ )、黏结性( $X_9$ )、黏性( $X_{10}$ )、咀嚼度( $X_{11}$ )、硬度( $X_{12}$ ) 12 个指标进行主成分分析。从 12 项指标中提取出 3 个主成分, 累计方差贡献率为 86.147%, 基本能够反映原来的变量信息, 结果见表 6。同时可以用提取出来的 3 项主成分变量来替代原来的 12 项肉质指标进行评价, 其中咀嚼度、黏性、硬度、黏合力为影响肉质质构的最主要因素。

表 6 影响肉质的主成分  
Table 6 Principal components affecting meat quality

主成分	初始特征值		
	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	5.539	46.162	46.162
2	3.153	26.272	72.434
3	1.646	13.713	86.147
4	0.873	7.273	93.420
5	0.506	4.216	97.636
6	0.208	1.729	99.365
7	0.046	0.386	99.752
8	0.014	0.117	99.868
9	0.010	0.080	99.948
10	0.006	0.048	99.996
11	0.000	0.004	100.000
12	3.365×10 <sup>-5</sup>	0.000	100.000

由表 7 主成分载荷矩阵可得: 第一主成分量、第二主成分量和第三主成分量分别为:

$$F_1 = -0.449X_1 - 0.308X_2 + 0.509X_3 - 0.310X_4 + 0.418X_5 + 0.888X_6 - 0.473X_7 + 0.360X_8 - 0.884X_9 + 0.969X_{10} + 0.975X_{11} + 0.948X_{12};$$

$$F_2 = 0.694X_1 + 0.804X_2 + 0.706X_3 + 0.774X_4 - 0.189X_5 + 0.412X_6 - 0.415X_7 - 0.530X_8 - 0.424X_9 + 0.214X_{10} + 0.173X_{11} + 0.121X_{12};$$

$$F_3 = 0.238X_1 + 0.300X_2 - 0.200X_3 + 0.301X_4 + 0.665X_5 - 0.123X_6 + 0.611X_7 + 0.679X_8 + 0.113X_9 + 0.057X_{10} + 0.104X_{11} + 0.224X_{12}。$$

第一主成分代表变量为黏合力、黏结性、黏性、咀嚼度、硬度。第一主成分以  $X_{11}$  咀嚼度(0.975)最大, 其次为  $X_{10}$  黏性(0.969)、 $X_{12}$  硬度(0.948)、 $X_6$  黏合力(0.888)。由于该主成分相对于其他主成分对全部指标的贡献率较大, 所以其对整个肉质影响也较大, 为相对重要的指标。第一主成分越大, 则牛肉的咀嚼度、黏性、硬度、黏合力也就相应增大, 表现在牛肉的质构特性上为牛肉的咀嚼特性, 因此可以将第一主成分称为牛肉的咀嚼特性。第二主成分代表变量为水分、粗蛋白、粗脂肪、必需氨基酸, 均为牛肉的营养成分指标, 含量越高肉的营养价值越高, 因此可将第二主成分看作营养因子。第三主成分代表变量为多不饱和脂肪酸、凝聚性、弹性。第三主成分以  $X_8$  弹性(0.679)最大、其次为  $X_5$  多不饱和脂肪酸(0.665)、 $X_7$  凝聚性(0.611)。弹性和凝聚性都表示肉在外力作用时发生形变当撤去外力后, 恢复原来状态的能力, 因此可以将第三主成分看作牛肉的抗压特性和多不饱和脂肪酸含量。综上, 影响肉质的最主要因素是咀嚼度、黏性、硬度、黏合力等质构指标, 且质构指标优先性更强, 说明其对肉质的影响更为突出, 肉质构特性比肉中所含营养成分更能影响沃金黑牛肉的质量。

表 7 影响牛肉品质的主成分载荷矩阵

Table 7 Loading matrix of principal components affecting meat quality of beef

指标	$F_1$	$F_2$	$F_3$
$X_1$ 水分	-0.449	0.694	0.238
$X_2$ 粗蛋白	-0.308	0.804	0.300
$X_3$ 粗脂肪	0.509	0.706	-0.200
$X_4$ 必需氨基酸	-0.310	0.774	0.301
$X_5$ 多不饱和脂肪酸	0.418	-0.189	0.665
$X_6$ 黏合力	0.888	0.412	-0.123
$X_7$ 凝聚性	-0.473	-0.415	0.611
$X_8$ 弹性	0.360	-0.530	0.679
$X_9$ 黏结性	-0.884	-0.424	0.113
$X_{10}$ 黏性	0.969	0.214	0.057
$X_{11}$ 咀嚼度	0.975	0.173	0.104
$X_{12}$ 硬度	0.948	0.121	0.224

### 3 结 论

沃金黑牛牛肉营养丰富, 肌内脂肪含量高, 肌内脂肪越多, 则肉的多汁性越好, 风味也越好, 阉公牛的肌内脂

肪含量与母牛接近, 说明阉公牛在肉的风味上与母牛接近。营养成分上, 目前人们更倾向于食用高蛋白、低脂肪的食物。而营养价值不单从蛋白质含量的高低来评判, 还要看氨基酸种类是否齐全, 比例是否适当。沃金黑牛阉公牛牛肉必需氨基酸含量及评分与 FAO/WHO 标准推荐值接近, 表明阉公牛在氨基酸组成上有所改善。但其蛋白营养与标准蛋白还有一定差距, 且其 PUFA:SFA 与 FAO/WHO 的合理营养推荐值也有一定距离。阉公牛多不饱和脂肪酸主要由亚油酸(C18:2n-6)、花生四烯酸(C20:4n6)和 n-3 系亚麻酸(C18:3n-3)组成, 这 3 种多不饱和脂肪酸是人体必不可少的必需脂肪酸, 在新陈代谢和生长发育过程中起重要作用, 但母牛肉中未检出亚麻酸(C18:3n-3), 说明阉公牛牛肉在脂肪酸组成上优于母牛。

沃金黑牛母牛和阉公牛在质构品质上没有明显差别, 加工特性等无明显差异。沃金黑牛牛肉肌肉组织更易咀嚼, 肉质嫩度更好。牛肉组织具有纤维状结构, 而肌肉纤维平均直径和肌肉纤维密度等则与质构指标具有密切关系<sup>[40]</sup>。因此后续有必要对质构特性做进一步研究, 结合肌纤维组织学结构的观察, 从而更准确地解释牛肉质结构的变化。主成分分析的结果说明影响沃金黑牛肉肉质的最主要因素是咀嚼度、黏性、硬度、黏合力等质构指标, 且质构特性优先性更强, 说明沃金黑牛牛肉的口感比肉中所含营养成分更能影响牛肉的品质。但是, 不同部位的牛肉品质之间存在差异<sup>[41-42]</sup>, 本研究仅选用背最长肌进行研究, 后续还需要选用其他不同部位进行更深入的对比研究。

综上, 阉公牛除了脂肪酸含量与母牛差异显著之前外, 水分含量、粗蛋白含量、粗脂肪含量、氨基酸含量与组成、质构指标之间差异并不显著。沃金黑牛营养成分含量丰富, 其质构指标比营养指标更能影响沃金黑牛肉的品质, 本研究可为今后继续选育和肉质改良提供参考。

### 参考文献

- [1] 刘笑笑, 赵云辉, 王多伽, 等. 雪花型沃金黑牛肉滴水损失率的分析研究[J]. 现代食品, 2022, 28(7): 172-174.  
LIU XX, ZHAO YH, WANG DJ, et al. Study on dripping loss rate of snow type Woking black cattle [J]. Mod Food, 2022, 28(7): 172-174.
- [2] 刘笑笑, 张鑫, 王蕾, 等. 性别对沃金黑牛肉食用品质的影响[J]. 食品安全导刊, 2022, (10): 74-76.  
LIU XX, ZGANG X, WANG L, et al. Effects of gender on meat quality of Woking black cattle [J]. Chin Food Saf Magaz, 2022, (10): 74-76.
- [3] 曾钰, 彭忠利, 高彦华, 等. 性别对舍饲育肥牦牛肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 293-299, 318.  
ZENG Y, PENG ZL, GAO YH, et al. Effect of gender on meat quality of house-fed fattening yak [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(18): 293-299, 318.
- [4] COSTA P, COSTAP, ROSEIRO LC, et al. Influence of slaughter season and sex on fatty acid composition, cholesterol and  $\alpha$ -tocopherol contents

- on different muscles of Barrosa-PDO veal [J]. *Meat Sci*, 2006, 72(1): 130–139.
- [5] 姜碧杰, 管林森, 辛亚平, 等. 性别对秦川牛肉品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(6): 1–4.  
JIANG BJ, ZAN LS, XIN YP, *et al.* Effect of gender on meat quality of Qinchuan cattle [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, 26(6): 1–4.
- [6] 庄蕾, 黄伟华, 刘梦, 等. 性别对早胜牛牛肉品质的影响研究[J]. *青海大学学报*, 2021, 39(6): 59–64.  
ZHUANG L, HUANG WH, LIU M, *et al.* Study on the influence of sex on the meat quality of Zaosheng cattle [J]. *J Qinghai Univ*, 2021, 39(6): 59–64.
- [7] 孟子晴, 赵改名, 祝超智, 等. 基于电子鼻与模糊数学建立熏牛肉品质评价法[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(18): 219–225.  
MENG ZQ, ZHAO GM, ZHU CZ, *et al.* Quality evaluation method of smoked beef based on electronic nose and fuzzy mathematics sensory evaluation method [J]. *Food Fermentat Ind*, 2020, 46(18): 219–225.
- [8] 保善科, 张丽, 孔祥颖, 等. 不同部位高原牦牛肉品质评价[J]. *畜牧兽医学报*, 2015, 46(3): 388–394.  
BAO SK, ZHANG L, KONG XY, *et al.* The quality evaluation of different muscles from plateau yak [J]. *Chin J Anim Vet Sci*, 2015, 46(3): 388–394.
- [9] 才英明. 基于生物传感器的牛肉中谷氨酸定量检测方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.  
CAI YM. Study on the quantitative detection method of glutamate in beef based on biosensor [D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [10] HAN D, LU JF, ZHANG WZ. Research on competitiveness of county economy based on factor analysis and cluster analysis: Taking 88 counties in Guizhou as samples [J]. *Asian Agric Res*, 2011, (2): 28–31.
- [11] 黄鸾玉, 吴祥庆, 庞燕飞, 等. 主成分分析法综合评价水产品营养价值[J]. *食品科技*, 2018, 43(2): 175–179.  
HUANG LY, WY XQ, PANG YF, *et al.* Comprehensive evaluation of nutritional value of aquatic products using principal component analysis [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(2): 175–179.
- [12] 杨文婷, 李俊丽, 孔丰, 等. 基于主成分分析法对冷冻滩羊肉品质评价模型的构建[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(9): 300–303, 313.  
YANG WT, LI JL, KONG F, *et al.* Modeling for quality evaluation of frozen lamb based on principal component analysis [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(9): 300–303, 313.
- [13] 徐琪, 张扬, 李秀, 等. 基于主成分分析法建立鸭肉质的评估模型[J]. *中国兽医学报*, 2013, 33(1): 133–136.  
XU Q, ZHANG Y, LI X, *et al.* Assessment model of duck meat quality performance using principal component analysis in duck [J]. *Chin J Vet Sci*, 2013, 33(1): 133–136.
- [14] 马龙, 武杰, 吴玲玲, 等. 酱牛肉肉质特性主成分分析[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(8): 111–113, 117.  
MA L, WU J, WU LL, *et al.* Principal component analysis of texture profile properties of spiced beef [J]. *Sci Technol Food*, 2013, 34(8): 111–113, 117.
- [15] 吕帆, 朱文彬, 王兰梅, 等. 福瑞鲤与黄河鲤、建鲤鱼肉品质的比较及影响肉质的主成分分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(5): 28–34.  
LV F, ZHU WB, WANG LM, *et al.* Meat quality comparison of FFRC strain common carp with Huanghe carp and Jian carp and factors influencing their meat quality [J]. *Food Sci*, 2016, 37(5): 28–34.
- [16] YILMAZ MT, KARAMAN S, DOGAN M, *et al.* Characterization of O/W model system meat emulsions using shear creep and creep recovery tests based on mechanical simulation models and their correlation with texture profile analysis (TPA) parameters [J]. *J Food Eng*, 2012, 108(2): 327–336.
- [17] MADIETA E, SYMONEAUX R, MEHINAGIC E. Textural properties of fruit affected by experimental conditions in TPA tests: An RSM approach [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2011, 46(5): 1044–1052.
- [18] EI-BELTAGY A, GAMEA GR, AMERESSA AH. Solar drying characteristics of strawberry [J]. *J Food Eng*, 2005, 78(2): 456–464.
- [19] KANEKI N, MIURA T, SHIMADA K. Measurement of pork freshness using potentiometric sensor [J]. *Talanta*, 2004, 62(1): 215–217.
- [20] 董庆利, 金曼, 胡孟晗, 等. 基于生物散斑技术的两部位牛肉肉质特性预测模型改进[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(4): 209–215.  
DONG QL, JIN M, HU MH, *et al.* Improvement of modeling texture characteristics of different parts of beef based on biospeckle technique [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2016, 47(4): 209–215.
- [21] 金曼, 董庆利, 刘宝林. 基于三维生物散斑技术的牛肉肉质特性预测[J]. *食品科学*, 2017, 38(3): 26–31.  
JIN M, DONG QL, LIU BL. Prediction of beef texture based on three-dimensional biospeckle [J]. *Food Sci*, 2017, 38(3): 26–31.
- [22] 赵家艺, 马梦斌, 李亚蕾, 等. 加热温度对酱卤牛肉肉质特性及水分分布的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(7): 18–21.  
ZHAO JY, MA MB, LI YL, *et al.* Effect of reheating temperature on texture properties and moisture distribution of sauced beef [J]. *Meat Res*, 2020, 34(7): 18–21.
- [23] 张旭, 赵婉竹, 金赫泽, 等. 完全混合发酵日粮对延边黄牛生长性能、肉品质及肉抗氧化指标的影响[J]. *饲料工业*, 2019, 40(3): 54–58.  
ZHANG X, ZHAO WZ, JIN HZ, *et al.* Effects of total mixed fermentation on growth performance, meat quality and antioxidant index of Yanbian yellow cattle [J]. *Feed Ind*, 2019, 40(3): 54–58.
- [24] 李铸, 何世明, 吴锦波, 等. 三江红牛肉与雪花牛肉营养成分对比分析[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2021, 24: 36–40.  
LI Z, HE SM, WU JB, *et al.* Comparative analysis of nutritional components between red beef and marble beef in Sanjiang cattle [J]. *Heilongjiang Anim Sci Vet Med*, 2021, 24: 36–40.
- [25] 安忠柱. 草原红牛肉用性状种质特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.  
AN ZZ. Study on meat quality traits in red steppes [D]. Changchun: Jilin University, 2008.
- [26] 王莉梅, 王德宝, 王晓冬, 等. 纯种日本和牛与西门塔尔杂交牛与西门塔尔牛肉品质对比分析[J]. *中国牛业科学*, 2019, 45(5): 17–20, 57.  
WANG LM, WANG DB, WANG XD, *et al.* Comparative analysis of beef quality between Japanese Wagyu and Simmental crossbreed cattle and pure Simmental cattle [J]. *China Cattle Sci*, 2019, 45(5): 17–20, 57.
- [27] LEE SH, CHOE JH, CHOI YM, *et al.* The influence of pork quality traits and muscle fiber characteristics on the eating quality of pork from various breeds [J]. *Meat Sci*, 2012, 90(2): 284–291.

- [28] 刘梦, 庄蕾, 张艳, 等. 不同发育阶段早胜牛阉牛牛肉常规养分及氨基酸组成分析[J]. 青海大学学报, 2022, 40(1): 76–82.  
LIU M, ZHUANG L, ZHANG Y, *et al.* Analysis of conventional nutrients and amino acid composition of Zaosheng steer meat at different developmental stages [J]. J Qinghai Univ, 2022, 40(1): 76–82.
- [29] 王圆圆, 李新森, Heshuote Mailisi, 等. 内蒙古寒冷草原繁育的黑安格斯牛肌肉中氨基酸分析[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(4): 216–220, 226.  
WANG YY, LI XM, HESHUOTE M, *et al.* Analysis of amino acids in muscle of black angus cattle bred in Inner Mongolia cold steppe [J]. Chin J Anim Sci, 2021, 57(4): 216–220, 226.
- [30] 毛军伟. 含大豆、玉米和小米烘烤婴幼儿营养米粉的糊化特性研究和营养评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.  
MAO JW. Pasting stability study and nutritional evaluation on rice based infant weaning food enriched with soybean, corn & millet [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [31] 张明. 安格斯与西门塔尔牛杂交一代育肥性能及肉品质研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.  
ZHANG M. Study on fattening performance and meat quality of Angus and Simmental breeds hybrid generation [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016.
- [32] LUNT DK, SMITH SB. Wagyu beef holds profit potential for U.S. [J]. Feedlots, 1991, (8): 18.
- [33] 曹芝. 内蒙古不同杂交品种肉牛生产性状比较研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.  
CAO Z. Comparative studies on performance of crossbred beef from different breed combination in Inner Mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
- [34] ZHANG SG, LIU T, BROWN MA, *et al.* Comparison of longissimus dorsi fatty acids profiles in black yak from Ma Qu [J]. Korean J Food Sci An, 2014, 35(3): 286–292.
- [35] 郑娅, 王晓璇, 胡生海, 等. 河西肉牛脂肪酸成分比较及主成分分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 290–297, 170.  
ZHENG Y, WANG XX, HU SH, *et al.* Comparison of fatty acid composition and principal component analysis of beef cattle in western area of yellow river [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(2): 290–297, 170.
- [36] 张树峰, 陈丽丽, 赵利, 等. 不同解冻方法对脆肉鲩鱼肉品质特性的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, (3): 56–62.  
ZHANG SF, CHEN LL, ZHAO L, *et al.* Effect of different thawing methods on quality characteristics of *Ctenopharyngodon idellus* C. et V [J]. J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2019, (3): 56–62.
- [37] 任范伟, 朱兰兰, 周德庆. 秋刀鱼肉质感官评价与质构的相关性分析[J]. 南方农业学报, 2016, 47(11): 1932–1938.  
REN FW, ZHU LL, ZHOU DQ. Correlation between meat quality sensory evaluation and texture of *Cololabis saira* [J]. J Southern Agric, 2016, 47(11): 1932–1938.
- [38] 李韬, 袁先铃, 于跃, 等. 不同品种兔肉营养成分与质构比较研究[J]. 肉类研究, 2020, 34(5): 6–10.  
LI T, YUAN XL, YU Y, *et al.* Comparative study of nutritional composition and texture of meat from different rabbit breeds [J]. Meat Res, 2020, 34(5): 6–10.
- [39] 张立彦, 胡嘉颖. 水分和温度对猪肉质构及感官品质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(9): 216–223.  
ZHANG LY, HU JY. Effects of moisture content and heating temperature on texture and sensory qualities of pork [J]. Mod Food Sci Technol, 2016, 32(9): 216–223.
- [40] 杨玉莹, 张一敏, 毛衍伟, 等. 不同部位牦牛肌肉纤维特性与肉品质差异[J]. 食品科学, 2019, 40(21): 72–77.  
ZHANG YY, ZHANG YM, MAO YW, *et al.* Differences in myofiber characteristics and meat quality of different yak muscles [J]. Food Sci, 2019, 40(21): 72–77.
- [41] 张丽萍, 柳艳霞, 赵改名, 等. 不同部位西门塔尔杂交黄牛牛肉干品质差异分析[J]. 肉类研究, 2020, 34(2): 7–12.  
ZHANG LP, LIU YX, ZHAO GM, *et al.* Quality difference of beef jerky from different carcass parts of Simmental hybrid cattle [J]. Meat Res, 2020, 34(2): 7–12.
- [42] 郝婉名, 祝超智, 赵改名, 等. 西门塔尔杂交牛不同部位肉间的差异性[J]. 肉类研究, 2019, 33(1): 14–18.  
HE WM, ZHU CZ, ZHAO GM, *et al.* Differences in meat quality among different parts of crossbred Simmental cattle [J]. Meat Res, 2019, 33(1): 14–18.

(责任编辑: 郑 丽 黄周梅)

## 作者简介



刘丽宅, 研究实习员, 主要研究方向为畜产品质量安全研究。  
E-mail: 921840792@qq.com



瞿子惠, 研究实习员, 主要研究方向为动物营养与饲料科学。  
E-mail: 47992301@qq.com



赵玉民, 研究员, 主要研究方向为牛遗传育种研究。  
E-mail: zhaoym-02-12@vip.163.com