

魏萌, 张松山, 谢鹏, 等. 九种本地雪花黄牛肉消费者感官评价及品质预测模型构建 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 278–286. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060171

WEI Meng, ZHANG Songshan, XIE Peng, et al. Consumer Sensory Evaluation and Quality Prediction Model Construction for 9 Kinds of Chinese Yellow Cattle Snowflake Beef[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(6): 278–286. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060171

· 分析检测 ·

九种本地雪花黄牛肉消费者感官评价及品质预测模型构建

魏 萌^{1,2}, 张松山¹, 谢 鹏¹, 陈 燕¹, 李海鹏¹, 刘晓畅¹, 于豪杰¹, 白跃宇^{3,4},
雷元华¹, 刘 璇¹, 王 欢¹, 孙宝忠^{1,*}

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193;

2. 石家庄学院化工学院, 河北石家庄 050035;

3. 河南省动物卫生监督所, 河南郑州 450000;

4. 郑州大学农学院, 河南郑州 450000)

摘 要:为挖掘国内优质黄牛肉的品质特性, 了解其市场定位和产品开发方向, 以进口雪花牛肉作为对照, 开展了 9 种本地 A3 级雪花黄牛肉生鲜肉、煎制肉和涮制肉的消费者感官评定。结果表明: 郟县红牛、新疆褐牛、渤海黑牛 3 个品种背最长肌煎制肉从多汁性、滋味、嫩度、色泽、残渣及香气评价与进口 A3 级雪花牛肉无显著差异 ($P>0.05$), 9 个品种本地黄牛股二头肌涮制肉均能达到进口雪花牛肉水平, 其中渤海黑牛、平凉红牛、云岭牛、夷陵牛、晋南牛股二头肌涮制肉得分显著高于进口雪花牛肉 ($P<0.05$)。对比生鲜肉和熟制肉的感官评价结果发现二者相关性偏低 ($r=0.345$), 说明仅凭生鲜肉外观确定牛肉质量等级存在一定的偏差, 因此本研究进一步开展背最长肌理化指标的测定并与感官得分进行线性回归分析, 构建了牛肉品质预测模型, 结果显示生鲜肉排整体可接受性 $=6.382-0.132 \times$ 蛋白质含量, 煎制肉整体可接受性 $=4.751-0.228 \times$ 剪切力, 生鲜肉的回归方程可以解释 81.2% 的因变量变异, 煎制肉回归方程可以解释 62.6% 的因变量变异, 模型拟合程度良好。通过筛选蛋白质和剪切力分别作为生鲜肉和煎制肉的评定指标, 为牛肉品质评价提供了新的参考依据。

关键词: 黄牛, 雪花牛肉, 感官分析, 品质评价, 线性回归

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)06-0278-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060171

本文网刊:



Consumer Sensory Evaluation and Quality Prediction Model Construction for 9 Kinds of Chinese Yellow Cattle Snowflake Beef

WEI Meng^{1,2}, ZHANG Songshan¹, XIE Peng¹, CHEN Yan¹, LI Haipeng¹, LIU Xiaochang¹, YU Haojie¹,
BAI Yueyu^{3,4}, LEI Yuanhua¹, LIU Xuan¹, WANG Huan¹, SUN Baozhong^{1,*}

(1. Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;

2. Chemical Engineering Institute, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China;

3. Henan Animal Health Supervision, Zhengzhou 450000, China;

4. School of Agricultural Sciences, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to explore the quality characteristics and understand the market position and development direction of Chinese yellow cattle beef, consumer sensory evaluation including fresh beef, pan-fried steaks and instant-boiled slices of nine kinds of native A3 grade yellow cattle beef were carried out with the imported snowflake beef as control group. The

收稿日期: 2021-06-21

基金项目: 国家自然科学基金 (32072143); 河南省重大公益专项“河南省地方肉牛种质创新” (项目号 201300111200); 财政部和农业农村部“国家现代农业产业技术体系资助” (CARS-37); 河北省现代农业 (肉牛) 产业技术体系创新团队建设项目 (HBCT2018130204)。

作者简介: 魏萌 (1989-), 女, 博士研究生, 研究方向: 畜产品质量与食品安全, E-mail: weimeng@caas.cn。

*** 通信作者:** 孙宝忠 (1964-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 畜产品加工与安全控制, E-mail: baozhongsun@163.com。

results showed that there was no significant difference in juicy, taste, tenderness, color, residue and aroma scores of the pan-fried steaks between longissimus dorsi of Jiaxian red cattle, Xinjiang brown cattle, Bohai black cattle and A3 grade imported snowflake beef ($P>0.05$). All nine kinds of native yellow cattle instant-boiled slices from biceps femoris could reach the level of imported snow beef, among which the scores of Bohai black cattle, Pingliang red cattle, Yunling cattle, Yiling cattle, Jinnan cattle were significantly higher than those of imported snowflake beef ($P<0.05$). Comparing the sensory evaluation results of fresh and cooked beef, it was found that the correlation between them was low ($r=0.345$). It indicated that there was a certain error in determining the beef quality grade only based on the appearance of fresh beef. Therefore, physiochemical properties were measured and the linear regression analysis of physiochemical properties and sensory scores was conducted further in order to construct beef quality prediction model. The results showed that the overall acceptability of fresh steak $=6.382-0.132\times$ protein content, and the overall acceptability of fried meat $=4.751-0.228\times$ shear force. The regression equation of fresh steak could explain 81.2% of the dependent variable variation, and the pan-fried steaks one could explain 62.6% of the dependent variable variation. Accordingly, protein content and shear force were selected as evaluation indicators fresh and pan-fried beef respectively, which would provide new reference for beef quality evaluation.

Key words: Chinese yellow cattle; snowflake beef; sensory evaluation; quality evaluation; linear regression

我国作为世界第三大牛肉生产国,第二大牛肉消费国,牛肉进出口长期处于贸易逆差,供需缺口不断扩大,截止 2016 年,供需缺口已接近 60 万吨^[1]。我国牛肉进口不断增长,特别是对优质牛肉的需求还将进一步提升。随着我国肉牛产业的快速发展和人们生活水平的不断提高,雪花牛肉以丰富的雪花沉积和独特的风味正逐渐被国人认可,调查显示 A3 级牛肉的店头销售价格一直在上涨,雪花牛肉在市场上的需求量逐步扩大^[2]。然而大规模进口牛肉挤占新增市场需求,国内肉牛产业受到抑制,本地品种受到了一定程度的冲击。对于线上平台牛排销售量进行统计发现 71.5% 的占比均属于进口牛排产品,本地牛却很少被消费者了解。为破解牛肉依赖从国外进口的局面,打好种业翻身仗,挖掘本地品种的特性十分必要。我国黄牛养殖历史悠久,品种数量众多,国家畜禽遗传资源品种名录(2021 年版)公布我国目前黄牛品种为 65 个,其中包括地方品种 55 个、培育品种 10 个。其中一些地方良种具有耐粗饲、成熟早、繁殖性能强、肉质细嫩多汁、脂肪分布均匀、大理石纹明显等特点,具备生产高档牛肉的潜力^[3]。罗欣等^[4]综合分析了我四个肉牛品种、不同等级的育肥牛肉品质状况,证明本土肉牛品种(鲁西黄牛、秦川牛和延边牛)与日本和牛的杂交肉牛经育肥后,其肌肉脂肪含量或大理石花纹能够达到日本和牛的水平,具有生产雪花牛肉的潜质。吴健等^[5]对延黄牛生长性能和肌肉品质进行研究,发现随着育肥时间的增加,延边牛大理石花纹等级显著提高。张喜忠等^[6]对晋南牛与和杂一代牛进行育肥试验对比,发现晋南牛在剪切力和大理石纹等级方面优于和杂一代牛,晋南牛有生产高档牛肉的潜力。李娜等^[7]对新疆褐牛进行感官评价,发现育肥牛在色泽、嫩度、滋味等方面均超过未育肥牛,证明了新疆褐牛在适宜的营养水平和育肥模式下,完全可以生产出高档优质牛肉。说明本地黄牛经过改进饲养管理技术、采用现代肉牛屠宰技术等措施后,可生产出与进口优质牛肉相媲美的

牛肉。另外雪花牛肉不仅在外观和风味上占据优势,雪花牛肉富含共轭亚油酸,且胆固醇含量较低^[8],具有很高的营养价值。因此在消费升级的大背景下,我国黄牛具有广阔的开发利用前景。但目前对于我国本地雪花黄牛肉食用品质的研究很少,为了突出本地雪花黄牛肉的特性,明确其市场定位与开发方向,推动黄牛品牌建设,本研究经过前期的品种鉴定、屠宰分割测定,从 22 个品种(类群中)筛选出肌肉脂肪沉积能力较强、具有雪花牛肉生产潜能的 9 个黄牛品种,对其肉质进行消费者感官评价。由于雪花牛肉的消费主要集中在大中型城市,以涮牛肉和烤牛排为主^[9],为此本研究分别开展生鲜肉排(片)及煎制肉排、涮制肉片消费者感官评价。同时进行理化指标测定,将理化指标与感官评价进行相关性分析,构建牛肉品质预测模型,以求准确评价牛肉品质,科学确定本地黄牛的開發价值。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

进口 A3 级雪花牛肉 作为参照样,河北廊坊市大厂回族自治县顺泽肉类有限公司;渤海黑牛(BH) 山东无棣华兴渤海黑牛种业股份有限公司;鲁西牛(LX) 阳信亿利源清真肉类有限公司;郟县红牛(JX) 平顶山瑞宝红牛肉业有限公司;夷陵牛(YL) 湖北丰联佳沃农业开发有限公司;文山牛(WS) 云南谷多农牧业有限公司;晋南牛(JN) 运城市晋南牛遗传资源基因保护中心;云岭牛(YLN) 云南草地动物科学研究院;新疆褐牛(XJ) 新疆创锦福云食品有限公司;平凉红牛(PL) 崇信伊顺祥清真牛业有限责任公司;以上 9 个黄牛品种或类群作为实验对象;硼酸、氢氧化钠、硫酸钾、硫酸铜、硫酸、盐酸、无水乙醚 均为分析纯,北京化工厂。

HI99163 便携式 pH 计 意大利哈纳公司;HH-4 数显恒温水浴锅 江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;YYW-2 型应变式控制式无侧限压力仪 南

京土壤仪器厂有限公司; TA.XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro System 公司; Kjeltac 8200 全自动凯氏定氮仪 丹麦 FOSS 公司; ST243 脂肪测定仪 丹麦 FOSS 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品采集及处理

1.2.1.1 样品处理 入选品种或类群按照当地饲养模式饲养,按照日式质量分级标准达到 A3 级别各 3 头,由指定的屠宰加工厂负责屠宰,按照特定的工艺参数进行加工:成熟温度 0~4 ℃,成熟时间 14 d,取分割部位肉(左侧背最长肌和股二头肌)在零下 30 ℃ 以下冻结,零下 18 ℃ 环境储存运输。样品分析前,在 4 ℃ 条件下冷藏解冻 24 h,进行各项指标的检测。

1.2.1.2 感官评价样品制备 选取背最长肌作为煎烤肉样,样品制备要求:样品垂直肌纤维切成 15 mm 厚排片,4 ℃ 解冻,烤板预热至 200 ℃(红外温度计测量表面温度),用带探针的温度计插入牛排中心位置,煎烤直至中心温度达到 68 ℃。选取股二头肌作为涮制肉样,样品制备要求:样品垂直肌纤维切成 1.5 mm 厚的薄片,100 ℃ 沸水中涮制 15 s。所有品种的样品大小和大理石花纹等级一致,煎烤和涮制过程均不添加调味料,防止调味料影响样品的滋味和香气。

1.2.1.3 感官评价方法 在延吉、北京、深圳共挑选 199 名消费者开展消费嗜好性评价,具体消费者背景信息见表 1。样品解冻后,用于生鲜牛肉感官评价的样品在评价前 30 min 放置于一次性白色纸盘中,生鲜肉排每个品种 3 条背最长肌各取 3 片,生鲜肉片每个品种 3 条股二头肌各取 3 片,即每个品种 9 个肉排和肉片样品,随机分给每个小组进行评价(北京和延吉 8 人分为一小组,深圳 7 人为一小组);用于煎制牛排感官评价的每个品种的 3 条背最长肌按照 1.2.1 的方法进行样品制备,然后将样品切成 2 cm×2 cm×1.5 cm 大小,混合后分给每个人进行评价;用于涮制肉片感官评价的每个品种 3 条股二头肌按照

1.2.1 的方法进行样品制备,混合后分给每个人进行评价,每名消费者评价 10 个样品(包括实验组和对照组)。供评定的样品采用随机的三位数编码,同一品种牛肉的生鲜和熟制样品使用不同编号,盛装样品的容器采用同一规格的白色一次性纸盘。在评价熟制牛肉样品时,更换样品消费者需要漱口,以防止样品之间产生干扰。生肉根据颜色、形态、细致度、香气、整体可接受性 5 项感官性状评价,煎制肉、涮制肉根据色泽、熟肉香气、滋味、嫩度、多汁性、残渣量、整体可接受性 7 项感官性状评价^[9],采用 5 分标度法进行打分,非常喜欢—5 分、喜欢—4 分、一般—3 分,不喜欢—2 分、非常不喜欢—1 分。

1.2.1.4 理化指标测定 选取背最长肌进行理化指标测定,pH 的测定:pH 计插入肉中测定 pH,每个样品测 3 次取其平均值;蒸煮损失的测定:取规格长×宽×高分别为 5 cm×4 cm×4 cm 的肉样,置于蒸煮袋内,水浴温度 80 ℃,煮至中心温度达到 72 ℃ 时,取出,冷却至室温,称量蒸煮前后质量损失,计算与原肉样重百分比;加压失水率的测定:沿肌纤维垂直方向取 1 cm 厚,直径 2.5 cm 的圆形肉柱,称重,用纱布和滤纸包裹,压力仪加压 35 kg 保持 5 min,去除纱布、滤纸后称重,加压前后重量的损失与原肉样重的百分比即为加压失水率^[11];剪切力的测定:按照 NY/T 1180-2006《肉嫩度的测定 剪切力测定法》进行测定;蛋白质、水分、脂肪含量的测定:按照 GB/T 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB/T 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB/T 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》进行测定。

1.3 数据处理

采用 SPSS 统计分析软件对实验数据进行统计分析,对感官结果进行方差分析,以 $P<0.05$ 表示差异具有显著性,以 $P<0.01$ 表示差异具有极显著性。计算指标之间皮尔逊(Pearson)相关系数,建立感官评价与理化指标之间的线性回归关系。所有理化指标进行 3 次重复处理。

表 1 消费者基本信息统计

Table 1 Statistics of consumer basic information

消费者信息		北京(70)	延吉(69)	深圳(60)	合计(199)
性别	男	42.4%	40.9%	43.1%	42.1%
	女	57.6%	59.1%	56.9%	57.9%
年龄	≤30岁	39.7%	48.4%	50.9%	45.9%
	31~45岁	30.9%	29.0%	30.2%	30.1%
	46~59岁	27.9%	19.4%	18.9%	22.4%
	≥60岁	1.5%	3.2%	0.0%	1.6%
	1周消费两次及以上	9.1%	12.3%	10.2%	10.6%
消费频次	1周消费一次	22.7%	27.7%	14.3%	22.2%
	2周消费一次	25.8%	15.4%	14.3%	18.9%
	3周消费一次	12.1%	12.3%	20.4%	14.4%
	1个月或更长时间消费一次	30.3%	32.3%	40.8%	33.9%

2 结果与分析

2.1 背最长肌生鲜肉排和煎制肉感官评分结果

由表 2 可知, 生鲜肉排的感官评价结果显示, 对照组整体可接受性平均得分为 4.27, 显著高于其他 9 个黄牛品种得分(均低于 4 分)($P<0.05$)。黄牛之间比较 XJ 样品(平均得分 3.99)显著高于其他组($P<0.05$)。从具体感官性状来看, 颜色、形态、细致度均与整体可接受性变化基本一致, 都呈现对照组显著高于 XJ 样品, XJ 样品显著高于其他样品的趋势($P<0.05$)。香气的整体得分偏低, 且对照组香气和 XJ 样品香气无显著差异($P>0.05$), 说明香气不是消费者选择生鲜肉排时主要考虑的因素。综合来看消费者认为黄牛的背最长肌生鲜肉品质在颜色、形态、细致度方面均不及对照组, 黄牛品种之间 XJ 样品生鲜肉排表现突出。

煎制肉的感官结果显示总体可接受性得分中 BH(4.18 分)、JX(4.03 分)、XJ(4.04 分)与对照组(4.12 分)无显著差异($P>0.05$), 但这四组样品得分显著高于 JN(3.52 分)、WS(3.40 分)、LX(3.30 分)样品($P<0.05$)。对于具体的感官性状而言, 多汁性结果与整体可接受性较一致, 即 BH、JX、XJ 样品与对照组无显著差异($P>0.05$); 滋味和嫩度方面, BH、JX、YL、XJ 样品与对照组无显著差异($P>0.05$); 在煎肉

色泽和残渣量的评价中 BH 样品得分显著高于对照组($P<0.05$); 香气评价中对照组显著高于 LX、JN 和 WS 样品($P<0.05$), 但与其他黄牛品种无明显差异($P>0.05$)。以上结果说明煎制肉中 BH、JX、XJ 从多汁性、滋味、嫩度、色泽、残渣量及香气评价中可以达到进口 A3 级雪花牛肉的品质水平, 但 LX、WS、JN 还与进口雪花牛肉存在一定差距, 品质需要进一步提升。

对比生鲜肉排与煎制肉的结果发现, 二者的变化并不完全一致, 黄牛生鲜肉排的外观得分不及进口雪花牛肉, 但煎制后 BH、JX、XJ 的得分与进口无差异, 部分感官性状甚至高于同级别进口雪花牛肉。说明从生鲜肉的外观来判断牛肉的品质结果并不可靠, 但现有的牛肉质量分级标准一般都以肉色、脂肪色和大理石花纹丰富程度等外观特性作为判定的依据^[12], 因此在牛肉的分级标准制定的过程中需要探索建立新的指标以更好的体现牛肉的品质。

2.2 股二头肌生鲜肉片和涮制肉感官评分结果

由表 3 可知, 消费者对生鲜肉片感官评价结果显示 YLN 样品(平均得分 3.89)生鲜肉片总体可接受性评分最高, 显著高于对照组(3.65 分)($P<0.05$), BH、LX、JN、XJ 与对照组没有显著差异($P>0.05$), YL、WS 样品显著低于对照组($P<0.05$); 其中颜色评

表 2 背最长肌生鲜肉排和煎制肉感官得分(n=199)
Table 2 Sensory scores of fresh and pan-fried steaks from longissimus dorsi (n=199)

样品	生鲜肉排评价					煎制肉评价						
	颜色	形态	细致度	香气	整体可接受性	色泽	熟肉香气	滋味	嫩度	多汁性	残渣量	整体可接受性
BH	3.70±1.00 ^c	3.66±1.02 ^c	3.60±1.01 ^{cde}	3.41±0.95 ^{bc}	3.70±0.90 ^c	4.15±0.76 ^a	4.04±0.92 ^a	4.05±0.91 ^a	4.08±0.95 ^a	4.03±0.94 ^a	3.83±1.03 ^a	4.18±0.87 ^a
LX	3.48±1.09 ^{def}	3.52±0.96 ^{cd}	3.67±1.02 ^{cd}	3.29±1.00 ^{cd}	3.55±0.96 ^{cd}	3.69±0.91 ^{ef}	3.60±1.02 ^c	3.40±0.92 ^d	3.12±1.02 ^f	3.01±1.01 ^e	3.11±1.04 ^f	3.30±0.96 ^c
JX	3.59±0.95 ^{cd}	3.67±0.92 ^c	3.72±0.81 ^{bc}	3.40±0.93 ^{bc}	3.66±0.81 ^c	4.02±0.77 ^{ab}	3.95±0.78 ^a	4.00±0.81 ^{ab}	3.89±0.92 ^{abc}	3.94±0.89 ^{ab}	3.60±0.96 ^b	4.03±0.78 ^{ab}
YL	3.50±1.02 ^{def}	3.67±0.95 ^c	3.61±0.93 ^{cde}	3.40±0.97 ^{bc}	3.69±0.88 ^c	4.10±0.76 ^{ab}	3.99±0.82 ^a	3.83±0.84 ^{bc}	3.82±0.90 ^{bc}	3.77±0.88 ^{bc}	3.38±1.07 ^{cde}	3.92±0.84 ^{bc}
WS	3.38±1.03 ^{ef}	3.36±1.04 ^d	3.45±1.01 ^{ef}	3.14±0.97 ^d	3.34±0.99 ^c	3.65±0.87 ^f	3.57±0.96 ^c	3.39±0.97 ^d	3.17±1.00 ^{ef}	3.26±1.05 ^d	3.22±1.01 ^{def}	3.40±0.86 ^{de}
JN	3.55±1.08 ^{cde}	3.42±1.02 ^d	3.51±1.04 ^{def}	3.19±1.00 ^d	3.45±0.93 ^{de}	3.84±0.86 ^{cde}	3.73±0.89 ^{bc}	3.53±0.93 ^d	3.31±1.04 ^e	3.37±1.00 ^d	3.18±1.02 ^{ef}	3.52±0.98 ^d
YLN	3.34±0.96 ^f	3.36±1.02 ^d	3.41±0.96 ^f	3.28±0.97 ^{cd}	3.47±0.93 ^{de}	3.98±0.85 ^{abc}	3.87±0.88 ^{ab}	3.77±0.94 ^c	3.74±0.96 ^{cd}	3.80±0.98 ^{bc}	3.42±1.08 ^{bcd}	3.84±0.91 ^c
XJ	3.96±0.89 ^b	3.97±0.94 ^b	3.87±0.90 ^b	3.58±1.02 ^{ab}	3.99±0.91 ^b	4.07±0.79 ^{ab}	3.97±0.81 ^a	3.93±0.84 ^{abc}	3.99±0.89 ^{ab}	4.00±0.93 ^a	3.56±1.10 ^{bc}	4.04±0.85 ^{ab}
PL	3.68±0.86 ^{cd}	3.71±0.90 ^c	3.67±0.85 ^{cd}	3.41±0.92 ^{bc}	3.70±0.77 ^c	3.80±0.8 ^{def}	3.95±0.86 ^a	3.78±0.95 ^c	3.61±1.01 ^d	3.68±1.02 ^c	3.48±1.01 ^{bc}	3.82±0.85 ^c
对照	4.19±0.92 ^a	4.26±0.91 ^a	4.18±0.88 ^a	3.74±1.01 ^a	4.27±0.87 ^a	3.95±0.81 ^{bcd}	4.04±0.79 ^a	3.96±0.82 ^{ab}	3.94±0.87 ^{ab}	4.12±0.82 ^a	3.56±1.02 ^{bc}	4.12±0.75 ^a

注: 同列字母上标不同表示数据间具有显著差异($P<0.05$), 表3同。

表 3 股二头肌生鲜肉片和涮制肉感官得分(n=199)
Table 3 Sensory scores of fresh and instant-boiled slices from biceps femoris (n=199)

样品	生鲜肉片评价					涮制肉评价						
	颜色	形态	细致度	香气	整体可接受性	色泽	熟肉香气	滋味	嫩度	多汁性	残渣量	整体可接受性
BH	3.70±0.89 ^{abc}	3.52±0.87 ^{cd}	3.58±0.84 ^{bcd}	3.23±0.91 ^{ab}	3.53±0.86 ^{cde}	3.73±0.90 ^{ab}	3.67±0.92 ^{ab}	3.67±0.91 ^{ab}	3.61±0.95 ^a	3.67±0.90 ^a	3.24±1.15 ^a	3.79±0.98 ^a
LX	3.77±1.13 ^a	3.50±0.96 ^{cd}	3.90±0.95 ^a	3.34±0.93 ^a	3.62±0.91 ^{bcd}	3.63±0.90 ^{bc}	3.30±0.96 ^c	3.22±0.91 ^d	2.86±0.97 ^b	3.06±1.05 ^c	2.87±1.01 ^c	3.10±0.91 ^d
JX	3.56±0.84 ^{bc}	3.37±0.88 ^{de}	3.42±0.90 ^{de}	3.28±0.93 ^{ab}	3.44±0.83 ^{de}	3.74±0.81 ^{ab}	3.45±0.92 ^{cd}	3.37±0.92 ^{cd}	3.48±2.96 ^a	3.35±0.85 ^d	3.10±1.01 ^{ab}	3.44±0.86 ^b
YL	3.31±1.02 ^d	3.38±0.94 ^{de}	3.49±1.01 ^{de}	3.13±1.01 ^b	3.39±0.90 ^c	3.84±0.89 ^a	3.70±0.90 ^a	3.76±0.91 ^a	3.54±1.07 ^a	3.56±0.98 ^{abc}	3.32±1.04 ^a	3.82±0.91 ^a
WS	3.10±1.02 ^c	3.14±0.93 ^c	3.18±0.98 ^f	3.09±0.93 ^b	3.11±0.86 ^f	3.53±0.83 ^c	3.45±0.92 ^{cd}	3.35±0.93 ^{cd}	2.98±0.95 ^b	3.03±0.94 ^c	2.98±1.06 ^{bc}	3.30±0.90 ^{bc}
JN	3.90±0.91 ^a	3.56±0.97 ^{cd}	3.77±0.94 ^{ab}	3.20±0.90 ^{ab}	3.63±0.80 ^{bc}	3.74±0.84 ^{ab}	3.49±0.90 ^{bcd}	3.57±0.90 ^{ab}	3.47±1.01 ^a	3.46±0.92 ^{bcd}	3.21±1.06 ^a	3.66±0.94 ^a
YLN	3.75±0.95 ^{ab}	4.00±0.88 ^a	3.77±0.85 ^{ab}	3.38±0.93 ^a	3.89±0.84 ^a	3.85±0.79 ^a	3.56±0.91 ^{abcd}	3.65±0.92 ^{ab}	3.59±0.93 ^a	3.57±0.94 ^{ab}	3.31±1.01 ^a	3.79±0.87 ^a
XJ	3.71±0.96 ^{ab}	3.82±0.87 ^{ab}	3.65±0.90 ^{bc}	3.37±0.95 ^a	3.72±0.90 ^b	3.61±0.91 ^{bc}	3.43±0.99 ^{de}	3.50±0.95 ^{bc}	3.34±1.00 ^a	3.32±0.89 ^d	3.15±1.00 ^{ab}	3.49±0.95 ^b
PL	3.51±0.84 ^c	3.70±2.92 ^{bc}	3.38±0.91 ^c	3.14±0.85 ^b	3.45±0.84 ^{de}	3.80±0.79 ^{ab}	3.65±0.94 ^{abc}	3.70±0.83 ^a	3.63±2.94 ^a	3.38±0.89 ^{cd}	3.22±0.99 ^a	3.72±0.86 ^c
对照	3.70±0.89 ^{abc}	3.86±0.91 ^{ab}	3.60±0.9 ^{bcd}	3.09±1.02 ^b	3.65±0.75 ^{bc}	3.48±0.84 ^c	3.34±0.99 ^c	3.28±0.99 ^d	2.79±0.96 ^b	3.00±0.94 ^c	2.95±1.02 ^{bc}	3.19±0.88 ^{cd}

价得分方面,大部分样品与对照组无显著差异($P>0.05$),YL、WS显著低于对照组($P<0.05$);形态方面,YLN、XJ和PL样品与对照组无显著差异($P>0.05$),其余样品显著低于对照组($P<0.05$);细致度的得分结果可以看出LX样品显著高于对照组($P<0.05$),WS和PL样品显著低于对照组($P<0.05$);香气评价结果可知LX、YLN和XJ显著高于对照组($P<0.05$),其他样品与对照组无显著差异($P>0.05$)。以上结果说明,除YL、WS样品外生鲜肉片的颜色、细致度、香气等品质均能达到甚至超出进口牛肉的水平。

涮制肉总体可接受性评价中LX(3.10分)、WS(3.30分)与对照组(3.19分)无显著差异($P>0.05$),其余品种均显著高于对照组($P<0.05$)。其中多汁性和嫩度评价得分与总体可接受性一致;涮肉色泽和滋味LX、WS、XJ与对照组无显著差异($P>0.05$),其余品种均显著高于对照组($P<0.05$);涮肉香气BH、YL、YLN、PL显著高于对照组($P<0.05$),其余样品与对照组无显著差异($P>0.05$);残渣得分中LX、JX、WS、XJ与对照组无显著差异($P>0.05$),其余均显著高于对照组($P<0.05$)。这一结果说明消费者认为涮制肉片所有品种均能达到进口牛肉的水平,且LX和WS之外的品种涮制肉品质明显超出进口牛肉,因此黄牛股二头肌作为涮制用途有极大的开发前景。

对比生鲜肉片和涮制肉的结果,股二头肌生鲜肉片评价中YL、WS样品得分显著低于对照组($P<0.05$),其余品种生鲜肉片品质与对照相当,涮制肉中大部分品种黄牛的股二头肌涮制肉得分远超对照,因此生鲜肉片与涮制肉的结果并不完全一致,如LX样品在生鲜肉片中打分较高,但在涮制肉中感官评分最低。这一结果与背最长肌相似,说明仅从生鲜肉外观来评价牛肉具有一定的局限性。

2.3 感官性状相关性分析

由表4和表5生鲜肉感官性状的相关性可以得出,所有感官性状均具有极显著相关($P<0.01$)。消费者对于背最长肌生鲜肉排的评价性状结果显示细致度($r=0.753$)和形态($r=0.752$)与整体可接受性相关性最强,其次为颜色($r=0.715$);而股二头肌生鲜肉片中与整体可接受性相关性最强的是颜色($r=0.706$),其次为细致度($r=0.671$);生鲜肉中整体可接受性与香气的相关性最低。已有研究把肉色作为消费者购买

表4 生鲜肉排的感官评价性状相关性

Table 4 Correlation analysis of sensory evaluation traits of fresh steaks

项目	颜色	形态	细致度	香气	整体可接受性
颜色	1.000				
形态	0.640**	1.000			
细致度	0.606**	0.667**	1.000		
香气	0.461**	0.487**	0.528**	1.000	
整体可接受性	0.715**	0.752**	0.753**	0.623**	1.000

注:**在0.01水平(双侧)上极显著相关;*在0.05水平(双侧)上显著相关;表5~表7、表9~表10同。

表5 生鲜肉片的感官评价性状相关性

Table 5 Correlation analysis of sensory evaluation traits of fresh slices

项目	颜色	形态	细致度	香气	整体可接受性
颜色	1.000				
形态	0.473**	1.000			
细致度	0.547**	0.439**	1.000		
香气	0.322**	0.342**	0.365**	1.000	
整体可接受性	0.706**	0.538**	0.671**	0.506**	1.000

牛肉的主要判断依据^[13],但根据上述结果可知,在生鲜肉排和生鲜肉片的选择中,消费者关注的指标并不相同,对于生鲜肉片人们关注肌肉和脂肪颜色,而对于生鲜肉排人们更关注肌肉和脂肪的细密程度以及整体状态如坚挺程度等。

由表6和表7熟制肉的感官性状相关性可知,所有感官性状均具有极显著相关($P<0.01$)。煎制肉评价性状中滋味($r=0.762$)、嫩度($r=0.762$)与整体可接受性相关性最强,其次为多汁性($r=0.750$);涮制肉评价性状中与整体可接受性相关性最强的同样是滋味($r=0.740$),其次为多汁性($r=0.688$)和香气($r=0.600$),与嫩度的相关性最低($r=0.441$)。由此可见,在煎制肉和涮制肉的评价中,消费者都同样重视滋味和多汁性,不同的是煎制牛排中人们更关注嫩度,而涮制肉片由于切片薄,消费者对香气的要求高于嫩度。O'QUINN等^[14]对牛排适口性的研究表明消费者整体喜爱程度与风味相关性最强($r=0.88$),其次为嫩度($r=0.76$)和多汁性($r=0.73$),这与煎制肉的结果一致。但王勇峰等^[15]对安格斯和秦川杂交牛进行感官评价相关性分析的结果显示多汁性和总体评价的相关性最强($r=$

表6 煎制肉的感官评价性状相关性

Table 6 Correlation analysis of sensory evaluation traits of pan-fried steaks

项目	色泽	熟肉香气	滋味	嫩度	多汁性	残渣量	整体可接受性
色泽	1.000						
熟肉香气	0.592**	1.000					
滋味	0.552**	0.652**	1.000				
嫩度	0.500**	0.535**	0.667**	1.000			
多汁性	0.496**	0.547**	0.633**	0.748**	1.000		
残渣量	0.385**	0.416**	0.465**	0.499**	0.473**	1.000	
整体可接受性	0.556**	0.627**	0.762**	0.762**	0.750**	0.554**	1.000

表 7 涮制肉的感官评价性状相关性
Table 7 Correlation analysis of sensory evaluation traits of instant-boiled slices

项目	色泽	熟肉香气	滋味	嫩度	多汁性	残渣量	整体可接受性
色泽	1.000						
熟肉香气	0.527**	1.000					
滋味	0.479**	0.597**	1.000				
嫩度	0.303**	0.311**	0.411**	1.000			
多汁性	0.389**	0.430**	0.575**	0.448**	1.000		
残渣量	0.372**	0.376**	0.453**	0.290**	0.469**	1.000	
整体可接受性	0.550**	0.600**	0.740**	0.441**	0.688**	0.554**	1.000

0.95), 其次是嫩度($r=0.84$)和风味($r=0.79$)。产生这一差异可能原因是对于不同雪花等级的牛肉, 消费者选择的侧重点不同; 另外年龄也可能是引起差异的原因, Felderhoff 等^[16-17] 调查结果发现年长的人通常更注重牛肉的嫩度, 而年轻人则更喜欢多汁的牛肉, 但总体而言风味对满意度的影响最大。

2.4 黄牛肉品质评价方法构建

2.4.1 背最长肌理化指标及其相关性 对比生鲜肉和熟制肉的感官评价结果发现二者整体相关性偏低($r=0.345$), 且上述结果阐明大理石花纹相同的黄牛肉感官评分仍然具有显著的差异, 因此仅从大理石花纹判断黄牛品质不能完全体现牛肉品质。为了更好的筛选牛肉品质指标, 构建评价方法, 本实验测定了背最长肌样品 pH、加压失水率、蒸煮损失、剪切力、蛋白质、水分、脂肪含量, 结果见表 8 所示。以这些指标作为自变量, 将其与感官评价结果进行逐步回归分析, 旨在以客观的测定方法来预测牛肉的感官特性。理化指标测定具有重复性好、成本低、数据生成速度快、技术简单等优点^[18]。在回归分析前首先判

定自变量之间是否具有相关性, 相关性强的指标无法出现在同一回归方程中, 需要检验变量间的共线性进行判定, 一般要求方差膨胀因子小于 10^[19], 较高的多重共线性就会造成回归模型失效。由表 9 自变量相关性可以看出, 脂肪含量与水分含量极显著负相关($r=-0.981$), 与蛋白质含量极显著负相关($r=-0.923$), 水分含量和蛋白质含量极显著正相关($r=0.908$); 剪切力与蛋白质含量显著正相关($r=0.447$), 与脂肪含量显著负相关($r=-0.406$); 蒸煮损失和加压失水率正相关, 二者与蛋白、水分含量均为正相关, 与脂肪含量呈负相关关系。Corbin 等^[20] 研究不同大理石花纹等级的牛肉感评价结果显示脂肪含量与水分($r=-0.99$)和蛋白含量($r=-0.95$)极显著负相关, 水分和蛋白含量极显著正相关($r=0.92$), 这与本实验结果一致。Liang 等^[21] 对于不同等级的黄牛杂交牛进行分析, 得到相似的结论, 肌肉脂肪含量与水分极显著负相关($r=-0.83$), 与剪切力呈显著负相关($r=-0.54$)。

2.4.2 背最长肌理化指标和感官评价性状的相关性 进行自变量(背最长肌理化指标)与因变量(煎制肉感官评价性状)相关性分析, 判断二者的相关性, 如不

表 8 背最长肌理化指标测定数据统计量($n=27$)
Table 8 Statistics of physiochemical properties of longissimus dorsal ($n=27$)

测定指标	最小值	最大值	平均值±标准差	样品间变异系数
pH	4.76	5.68	5.22±0.20	0.04
加压失水率(%)	28.55	41.00	34.25±3.57	0.10
蒸煮损失(%)	13.28	39.78	34.58±5.06	0.15
剪切力(kg)	1.92	5.78	3.44±0.86	0.25
蛋白质(%)	18.47	22.14	20.48±1.12	0.05
水分(%)	59.30	70.20	66.14±2.91	0.04
脂肪(%)	7.10	17.90	11.45±3.60	0.31

表 9 自变量相关性
Table 9 Correlation analysis of independent variables

指标	pH	加压失水率	蒸煮损失	剪切力	蛋白质	水分	脂肪
pH	1.000						
加压失水率	-0.045	1.000					
蒸煮损失	0.236	0.366*	1.000				
剪切力	0.070	0.048	0.096	1.000			
蛋白质	-0.142	0.439*	0.503**	0.447*	1.000		
水分	-0.084	0.493**	0.568**	0.356	0.908**	1.000	
脂肪	0.109	-0.454*	-0.463*	-0.406*	-0.923**	-0.981**	1.000

相关自变量将不被纳入到回归方程中,结果如表 10 所示,蒸煮损失和脂肪、水分含量与多汁性的相关性很强,这与 Drey^[22]的研究结果一致。剪切力、蛋白质和脂肪含量与大部分感官性状相关,而这三个指标自身也彼此相关,其中脂肪含量与部分感官性状呈正相关,且肌肉脂肪对多汁性($r=0.765$)和滋味($r=0.656$)的影响要高于其对嫩度($r=0.643$)的影响,这与 Thompson^[23-24]的结论一致,脂肪含量越高,刺激唾液分泌,在咀嚼过程中使人感受到肉的多汁性,同时脂肪降解氧化是风味物质产生的重要原因之一。脂肪含量一定程度上影响嫩度,但还有许多其他因素对嫩度有显著影响,如年龄、成熟时间等^[25-26]。剪切力与大部分感官性状呈显著负相关,且相关系数较高。有关剪切力和嫩度的相关性研究很多,在黄牛肉品质研究中,大部分都将剪切力作为嫩度的表征^[27-29],Holman 等^[30]在肌节长度、剪切力、粒径之间确定剪切力是预测牛肉嫩度的最佳指标。但二者的相关系数在已有研究中差异很大,有研究表明较嫩的肌肉二者相关性强,而较韧的肌肉中相关性弱^[31]。本实验中嫩度与剪切力的相关系数为 -0.801 ,与 Calkins 等^[32]研究结果感官评价嫩度与剪切力呈显著负相关($r=-0.84$)较一致,同样祝贺^[33]在不同等级的育肥牛感官评价研究中也得出结论嫩度感官评分和其对应剪切力值存在显著线性负相关($r=-0.84$)。

2.4.3 背最长肌理化指标与感官评价整体可接受性的线性回归 在满足上述条件基础上,分别建立生鲜肉排和煎制肉整体可接受性与理化指标之间的线性回归方程,见表 11,由方程可知,黄牛肉背最长肌蛋

白质含量越低,其生鲜肉的感官评分越高,回归方程可以解释 81.2% 的因变量变异;剪切力越小,煎制肉的感官评价得分越高,回归方程可以解释 62.6% 的因变量变异。Caine 等^[34]得到类似的结论,利用沃布剪切力(WBS)建立了与牛排整体适口性的回归方程,整体适口性 $=6.79-0.20 \times \text{WBS}$ 。因此可以利用蛋白质含量对黄牛生鲜肉排整体可接受性进行预测,利用剪切力值对煎制黄牛肉整体可接受性进行预测。基于以上结论,对于优质黄牛肉的品质评价,在原有以大理石花纹为主的评价基础上,增加剪切力作为新的评价指标,可以完善评价方法,实现牛肉品质的精准评价,为消费者提供更加一致性的产品,提升购买牛肉的信心^[35]。

3 结论

通过对 9 种 A3 级黄牛肉开展消费者品鉴,明确了品种的市场定位与开发价值,郟县红牛、新疆褐牛、渤海黑牛 3 个品种背最长肌煎制肉得分与 A3 级进口雪花牛肉无显著差异($P>0.05$),9 种黄牛的股二头肌涮制肉均能达到 A3 级进口雪花牛肉水平,且渤海黑牛、平凉红牛、云岭牛、夷陵牛、晋南牛得分显著高于对照组($P<0.05$),这一结果为培育国内牛肉品牌,提升品牌效应提供了数据支持。感官评价性状相关性分析表明,对于优质雪花黄牛肉,人们在生鲜肉排的评价中更关注细致度($r=0.753$)和形态($r=0.752$),在生鲜肉片的评价中更关注肉色($r=0.706$);而在煎制肉和涮制肉的评价中消费者都同样重视滋味($r=0.762$ 、 0.740)和多汁性($r=0.750$ 、 0.688),另外煎制肉评价中还重点关注牛肉嫩度($r=0.762$),不同

表 10 自变量(背最长肌理化指标)与因变量(煎制肉感官得分)的相关性

Table 10 Correlation between independent variables (physiochemical properties of longissimus dorsal) and dependent variables (sensory scores of pan-fried steaks)

指标	pH	加压失水率	蒸煮损失	剪切力	蛋白质	水分	脂肪
颜色	0.044	-0.722*	-0.724*	-0.712*	-0.883**	-0.779**	0.806**
形态	0.071	-0.683*	-0.732*	-0.753*	-0.898**	-0.814**	0.826**
细致度	0.072	-0.625	-0.723*	-0.619	-0.818**	-0.806**	0.811**
香气	0.021	-0.600	-0.723*	-0.812**	-0.907**	-0.830**	0.845**
生肉整体可接受性	0.003	-0.645*	-0.742*	-0.761*	-0.913**	-0.827**	0.839**
色泽	-0.359	-0.065	-0.356	-0.626	-0.534	-0.311	0.369
熟肉香气	-0.128	-0.368	-0.582	-0.886**	-0.773**	-0.600	0.631
滋味	-0.133	-0.329	-0.573	-0.832**	-0.733*	-0.602	0.656*
嫩度	-0.173	-0.349	-0.556	-0.801**	-0.746*	-0.588	0.643*
多汁性	-0.141	-0.511	-0.692*	-0.782**	-0.840**	-0.719*	0.765**
残渣量	-0.115	-0.332	-0.468	-0.760*	-0.615	-0.500	0.563
熟肉整体可接受性	-0.166	-0.417	-0.625	-0.817**	-0.786**	-0.643*	0.691*

表 11 背最长肌理化指标对感官评价的逐步回归分析

Table 11 Stepwise regressions to predict sensory traits using physiochemical traits of longissimus dorsal

感官性状	模型回归方程	决定系数	Sig
生鲜肉排整体可接受性	$y=6.382-0.132a$	0.812	0.0002
煎制肉整体可接受性	$y=4.751-0.228b$	0.626	0.0040

注: a代表蛋白质含量; b代表剪切力。

品种黄牛肉在感官性状上带给消费者的感受不同造成了黄牛品种间得分的差异。进一步通过对理化指标的检测及相关性分析,明确了剪切力、水分含量、蛋白质含量和脂肪含量之间及其与感官性状间的相关性,即脂肪含量与水分含量极显著负相关($r=-0.981$),与蛋白质含量极显著负相关($r=-0.923$),剪切力与蛋白质含量显著正相关($r=0.447$),与脂肪含量显著负相关($r=-0.406$),这一结果从加工和营养品质角度对品种间的差异进行了一定程度的解释。在此基础上构建了蛋白质含量与生鲜肉排整体可接受性、剪切力与煎制肉整体可接受性的回归关系,生鲜肉排整体可接受性 $=6.382-0.132\times$ 蛋白质含量,煎制肉整体可接受性 $=4.751-0.228\times$ 剪切力,通过蛋白质含量和剪切力对生鲜肉和煎制肉品质进行预测,对进一步提高黄牛肉产品的质量标准,优化产品结构,实现牛肉的分档分级,提升黄牛肉品质等方面都具有实际意义。

参考文献

- [1] 熊德皓,王东阳,胡志全.我国牛肉供需及国际竞争力研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(10):89-100. [XIONG S H, WANG D Y, HU Z Q. Research on China's beef supply, demand and international competitiveness[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(10): 89-100.]
- [2] 曹兵海.我国高档牛肉市场现状分析及其技术展望[J].现代畜牧兽医,2010(3):2-4. [CAO B H. Current situation analysis and technical prospect of high-grade beef market in China[J]. Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2010(3): 2-4.]
- [3] 原小强,马平.高档红牛肉和雪花牛肉生产关键技术[J].中国牛业科学,2014,40(6):75-77. [YUAN X Q, MA P. Key technology of high grade red cattle beef and snow beef production[J]. China Cattle Science, 2014, 40(6): 75-77.]
- [4] 罗欣,梁荣蓉,祝贺,等.我国育肥牛肉品质和感官评定分析:第七届(2012)中国牛业发展大会[C]//中国北京,2012. [LUO X, LIANG R R, ZHU H, et al. Beef quality and sensory evaluation of fattened cattle in China: The Seventh (2012) China National Cattle Industry Development Conference[C]// Beijing, China, 2012.]
- [5] 吴健,夏广军,于永生,等.育肥时间对延黄牛生长性能和肌肉品质的影响[J].吉林农业大学学报,2015,37(5):600-604. [WU J, XIA G J, YU Y S, et al. Effects of fattening period on growth performance and meat quality of Yan-yellow cattle[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2015, 37(5): 600-604.]
- [6] 张喜忠,王栋才,张元庆,等.晋南牛与和杂一代牛育肥试验比较研究[J].中国畜牧杂志,2015,51(S1):129-131. [ZHANG X Z, WANG D C, ZHANG Y Q, et al. Fattening comparison between Jinnan cattle and Simmental Taihang taxa crossbred generation with Japanese black cattle[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2015, 51(S1): 129-131.]
- [7] 李娜,张杨,周振勇,等.新疆褐牛高档牛肉感官评定比较[J].肉类工业,2013(3):13-18. [LI N, ZHANG Y, ZHOU Z Y, et al. Compare of Xinjiang high-grade beef of brown calf by sensory evaluation[J]. Meat Industry, 2013(3): 13-18.]
- [8] 张路培,袁峥嵘.中国高档牛肉市场现状及发展趋势展望[J].中国畜牧杂志,2012,48(4):34-37. [ZHANG L P, YUAN Z R. China high-equality beef market status and development trend prospect[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2012, 48(4): 34-37.]
- [9] 桑国俊,程强.我国雪花牛肉生产现状与分析[J].中国牛业科学,2013,39(2):1-5. [SANG G J, CHENG Q. The actual state and development analysis of snowflake beef industry[J]. China Cattle Science, 2013, 39(2): 1-5.]
- [10] 陈幼春,孙宝忠,曹红鹤.食品评指南[M].北京:中国农业出版社,2003:54-58. [CHEN Y C, SUN B Z, CAO H H. Food evaluation guide[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 54-58.]
- [11] 郎玉苗,李敬,卢凌,等.基于消费者感官评价的煎制牛肉预测模型[J].肉类研究,2015,29(1):18-22. [LANG Y M, LI J, LU L, et al. Prediction model of pan-fried beef based on consumer sensory evaluation[J]. Meat Research, 2015, 29(1): 18-22.]
- [12] 贾哲,罗阳光,敖其尔.中日牛肉标准指标对比浅析[J].中国标准化,2020(11):260-267. [JIA Z, LUO Y G, AO Q E. Analysis on the comparison of standard index of beef in China and Japan[J]. China Standardization, 2020(11): 260-267.]
- [13] 明丹丹,张一敏,董鹏程,等.牛肉肉色的影响因素及其控制技术研究进展[J].食品科学,2020,41(1):284-291. [MING D D, ZHANG Y M, DONG P C, et al. Recent progress in studies of factors influencing beef color and technologies for controlling it[J]. Food Science, 2020, 41(1): 284-291.]
- [14] O'QUINN T G, BROOKS J C, POLKINGHORNE R J, et al. Consumer assessment of beef strip loin steaks of varying fat levels[J]. Journal of Animal Science, 2012, 90(2): 626-634.
- [15] 王勇峰,郎玉苗,丰永红,等.运用逐步回归方法建立牛肉感官品质预测模型[J].食品工业科技,2016,37(13):67-71. [WANG Y F, LANG Y M, FENG Y H, et al. Beef sensory qualities prediction based on stepwise regression method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(13): 67-71.]
- [16] FELDERHOFF C, LYFORD C, MALAGA J, et al. Beef quality preferences: Factors driving consumer satisfaction[J]. Foods, 2020, 9(3): 289.
- [17] LIU J, OURY M, CHRIKI S, et al. Contributions of tenderness, juiciness and flavor liking to overall liking of beef in Europe[J]. Meat Science, 2020, 168: 108190.
- [18] HOLMAN B W B, HOPKINS D L. The use of conventional laboratory-based methods to predict consumer acceptance of beef and sheep meat: A review[J]. Meat Science, 2021, 181: 108586.
- [19] 黄文珂.多元回归建模过程中共线性的诊断与解决方法[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012. [HUANG W K. The diagnosis and process solutions in multicollinearity of multiple regression model[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.]
- [20] CORBIN C H, O'QUINN T G, GARMYIN A J, et al. Sensory evaluation of tender beef strip loin steaks of varying marbling levels and quality treatments[J]. Meat Science, 2015, 100: 24-31.
- [21] LIANG R R, ZHU H, MAO Y W, et al. Tenderness and sensory attributes of the longissimus lumborum muscles with different quality grades from Chinese fattened yellow crossbred steers[J]. Meat Science, 2016, 112: 52-57.

- [22] DREY L N, PRILL L L, OLSON B A, et al. Evaluation of marbling and enhancement's abilities to compensate for reduced beef palatability at elevated degrees of doneness[J]. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(2): 669–686.
- [23] THOMPSON J M. The effects of marbling on flavour and juiciness scores of cooked beef, after adjusting to a constant tenderness[J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2004, 44(7): 645.
- [24] DOMÍNGUEZ R, PATEIRO M, GAGAOUA M, et al. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(10): 429.
- [25] 周荣新, 杨富民. 西冷牛排加工过程中食用品质保证关键控制点的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2008(2): 251–254. [ZHOU R X, YANG F M. Study on the palatability assurance critical control points of sirloin steak processing[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2008(2): 251–254.]
- [26] 甘泉. 生鲜牛肉嫩度的影响因素和嫩化技术[J]. *肉类工业*, 2012(8): 51–53. [GAN Q. Analysis on factors affecting fresh beef tenderness and tenderization methods[J]. *Meat Industry*, 2012(8): 51–53.]
- [27] 张成龙, 李锐, 樊永亮, 等. 不同品种及排酸成熟时间对南方黄牛嫩度的影响[J]. *中国牛业科学*, 2015, 41(4): 21–23. [ZHANG C L, LI R, FAN Y L, et al. Effects of different breeds and time to mature to Southern beef tenderness[J]. *China Cattle Science*, 2015, 41(4): 21–23.]
- [28] 张花菊, 徐亚铂, 王琳琳, 等. 郟县红牛与不同品种肉牛杂交后代肉用性能比较研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2017, 44(12): 3482–3490. [ZHANG H J, XU Y B, WANG L L, et al. Comparative study on the beef traits between Jiaxian red cattle and crossbred beef cattle[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2017, 44(12): 3482–3490.]
- [29] 卢桂松, 彭增起, 曹晖, 等. 秦川公牛与鲁西公牛牛肉感官品质和加工特性[J]. *食品科学*, 2013, 34(5): 42–45. [LU G S, PENG Z Q, CAO H, et al. Sensory quality and processing characteristics of bull beef from Qinchuan and Luxi yellow cattle[J]. *Food Science*, 2013, 34(5): 42–45.]
- [30] HOLMAN B W B, COLLINS D, KILGANNON A K, et al. Using shear force, sarcomere length, particle size, collagen content, and protein solubility metrics to predict consumer acceptance of aged beef tenderness[J]. *Journal of Texture Studies*, 2020, 51(4): 559–566.
- [31] SHACKELFORD S, WHEELER T, KOOHMARAIE M. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle[J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(11): 3333–3340.
- [32] CALKINS C R, SULLIVAN G A. Ranking beef muscles for warner-bratzler shear force and trained sensory panel ratings from published literature[J]. *Journal of Food Quality*, 2011, 34(3): 195–203.
- [33] 祝贺. 不同等级牛肉品质特点和感官分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012. [ZHU H. Quality traits and sensory evaluation of beef in China[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.]
- [34] CAINE W R, AALHUS J L, BEST D R, et al. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks[J]. *Meat Science*, 2003, 64(4): 333–339.
- [35] BONNY S, HOCQUETTE J F, PETHICK D W, et al. Review: The variability of the eating quality of beef can be reduced by predicting consumer satisfaction[J]. *Animal*, 2018, 12(11): 2434–2442.