

罗杰琼, 张森, 贾洪锋, 等. 不同部位原切牛排品质对比分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 270-279. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070109

LUO Jieqiong, ZHANG Miao, JIA Hongfeng, et al. Comparative Analysis of Quality of Raw Cut Steak in Different Parts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 270-279. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070109

· 分析检测 ·

不同部位原切牛排品质对比分析

罗杰琼¹, 张 森^{1,*}, 贾洪锋¹, 白 婷², 张振宇¹

(1.四川旅游学院食品学院, 四川成都 610100;

2.成都大学肉类加工四川省重点实验室, 四川成都 610106)

摘要:以销量较高的 4 种不同部位原切牛排(板腱、西冷、肉眼、牛柳)为研究对象, 分别对其常规营养成分、挥发性风味物质、色差 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、保水性、质构、氨基酸等指标进行对比分析, 研究不同部位原切牛排的营养特性、食用品质、加工适宜性之间的差异。结果表明: 常规营养成分中板腱部位蛋白质含量最高, 西冷部位脂肪含量最高, 水分含量低, 牛柳部位脂肪含量低但水分含量最高; 4 个部位共检出 100 种挥发性风味物质, 板腱、西冷、牛柳、肉眼分别检测出 50、56、48、40 种挥发性物质。其中 4 个部位共有的挥发性风味物质共 9 种, 壬醛在 4 个部位牛排中含量均居于首位, 是原切牛排主要风味物质之一; 色差测定结果显示, 牛柳与其他三个部位的 L^* 、 a^* 、 b^* 存在显著性差异 ($P < 0.05$), 亮度最低, 颜色偏浅; 4 个部位蒸煮损失率均较小且不存在显著性差异 ($P > 0.05$); 板腱解冻损失率最低, 适合冷冻保存; 质构指标测定结果表明, 板腱硬度与咀嚼性均最高, 肉眼硬度和咀嚼性均最低 ($P > 0.05$), 肉眼食用品质比牛柳更好; 4 个不同部位原切牛排必需氨基酸与总氨基酸的比值 (essential amino acid/total amino acid, EAA/TAA) 分别为 39.80%、39.10%、38.90%、39.50%, 均在 40% 左右, 且谷氨酸、组氨酸等鲜味氨基酸含量较高, 均属于优质蛋白质。

关键词: 不同部位, 原切牛排, 品质, 对比分析

中图分类号: TS251.5⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)10-0270-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070109



本文网刊:

Comparative Analysis of Quality of Raw Cut Steak in Different Parts

LUO Jieqiong¹, ZHANG Miao^{1,*}, JIA Hongfeng¹, BAI Ting², ZHANG Zhenyu¹

(1.College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China;

2.College of Sichuan Key Laboratory of Meat Processing, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

Abstract: With the four different parts (plate tendon, sirloin beef the naked eye, and beef fillet) of raw cut steak as the research object, this paper made a comparative analysis of its conventional nutrients, volatile flavor substances, amino acids, the color L^* value, a^* value, b^* value, water retention, etc, investigated the differences of the different parts of the raw cut steak in nutrition characteristics, edible quality, and processing suitability. According to the results, among the conventional nutrients, the protein content of plate tendon was the highest, the fat content of sirloin beef was the highest, but with the lowest water content, while the fat content of beef fillet was the lowest but with the highest water content. A total of 100 kinds of volatile flavor substances had been detected in the four parts, and 50, 56, 48 and 40 kinds of volatile substances were detected in plate tendon, sirloin, naked eye and beef fillet, respectively. Among them, there were 9 kinds of volatile flavor substances shared by 4 parts of steak. Nonanal content ranked top in 4 parts of steak, which was one of the main flavor substances of raw cut steak. In the color difference, there were significant differences in L^* , a^* and b^* between beef fillet and the other three parts ($P < 0.05$), with the lowest brightness and lighter color. The cooking loss rate of the four parts was small, without significant difference ($P > 0.05$). Plate Tendon was suitable for cryopreservation because of its lowest thawing loss rate. Among the texture indexes, the hardness and chewiness of plate tendon were the highest, whereas

收稿日期: 2022-07-13

基金项目: 肉类加工四川省重点实验室 (21-R-19); 四川旅游学院大学生科研项目 (2022XKZ27); 四川省科技计划项目 (2020YFN0153)。

作者简介: 罗杰琼 (2001-), 女, 本科, 研究方向: 食品安全, E-mail: 2197039416@qq.com。

* 通信作者: 张森 (1984-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品加工与检测技术, E-mail: woshizm-520@163.com。

the hardness and chewiness of naked eye were the lowest ($P>0.05$). The ratios of essential amino acid/total amino acid (EAA/TAA) to total amino acid (EAA/TAA) in 4 different parts of raw steak were 39.80%, 39.10%, 38.90% and 39.50%, respectively, which were all around 40%. The contents of glutamic acid, histidine and other umami amino acids in 4 different parts of raw cut steak were higher. Thus, the raw cut steak of four different parts belonged to high-quality protein.

Key words: different parts; raw cut steak; quality; comparison and analysis

牛肉具有丰富的营养成分、蛋白质含量高、脂肪含量低、氨基酸和脂肪酸比例适宜的营养特点^[1]。近年来我国人民消费水平不断提升,人们对牛肉的消费量不断增加,与此同时人们对牛肉的品质愈加关注。由于原切牛排没有经过任何加工和腌制工序,对牛肉的品质要求较高,价格相对其他牛排高。而一些不法商贩为了谋取利润,将合成调理牛排充当为原切牛排售卖,或者以其他肉源代替牛肉,以次充好,对消费者的个人健康和经济利益造成了较大的损害。

近年来,对不同部位牛肉加工特性变化和熟制风味变化相关研究较多。朱青云等^[2]对青海 5 个地区牦牛肉的 3 个不同部位进行营养成分对比分析,结果表明不同地区牦牛肉指标性营养成分存在一定差异,适宜牦牛生长且具有产业化的地区,可以提高牦牛肉的品质。李慧等^[3]研究了不同部位西门塔尔牛肉原料肉的理化品质以及烤制加工适宜性,结果表明眼肉、外脊大理石花纹明显,亮度值、脂肪含量、总体可接受性评分均高于其它部位,烤制后的嫩度及滋味均较好,是最适宜加工烤制的部位。郎玉苗等^[4]研究育肥牛不同部位肌肉的肉质特性,以 9 头安格斯×秦川育肥牛为研究对象,分析了各指标间的差异,并对生鲜牛肉和煎制牛排进行了感官评价。刘雪霏等^[5]研究了不同部位牛肉烤制加工适宜性,选出了牛肉烤制加工的专用原料肉,可为牛肉合理化和标准化加工提供理论依据。而关于原切牛排品质差异及品质指标方面的研究较少。

本论文以市场销售量较高,消费者较喜爱的 4 种不同部位原切牛排为研究对象,分别测定其常规营养成分、挥发性风味物质、色差 L^* 、 a^* 、 b^* 值、保水性、质构、氨基酸等指标,分析其差异性,为建立原切牛排品质识别模型提供前期理论基础,为消费者和企业选购原料时,保障原切牛排的品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

选取体重为 550 kg 左右的西门塔尔肉牛 10 头产地阿根廷,购买于成都天海川贸易有限公司;屠宰分割后,取板腱、西冷、肉眼、牛柳 4 个不同部位牛肉,从西门塔尔牛结构上涵盖了前、中、后三个位置以及结合目前市场上消费者购买较多的不同部位原切牛排。在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 真空包装条件下运输至试验室后, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下保存 15 d 备用;浓硫酸、硫酸钾、硫酸铜、氢氧化钠、氯化钠、硼酸、盐酸 均为分析纯,成都化学试剂厂。

GCMS-QP2010Ultra 气相色谱质谱联用仪、SH-Rtx-Wax 毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm)、AUW 220 电子分析天平 日本岛津公司;57328-U 固相萃取头(50/30 μm DVB/CAR/PDMS StableFlex/SS (1 CM) Gray) 美国 Supelco 公司;GL2241-1SCN 型电子天平 深圳市林涛仪器有限公司;TMS-PRO 型质构仪 美国 FTC 公司;DC-P3 新型全自动测色色差计 北京兴光测色仪器有限公司;MK-301 型热电偶接触式测温仪 杭州美控自动化技术有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 常规营养成分测定 对板腱、西冷、肉眼、牛柳 4 个不同部位牛肉进行营养成分的测定。肉样水分质量分数参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》采用直接干燥法测定^[6];粗脂肪质量分数参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》采用索氏抽提法测定^[7];粗蛋白质量分数参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》采用凯氏定氮法测定^[8]。

1.2.2 GC-MS 测定

1.2.2.1 顶空 SPME 条件 样品粉碎后称取 2 g 于采样瓶中,旋紧瓶盖,插入萃取头,在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 顶空萃取 30 min 取出,快速移出萃取头并立即插入进样口(温度 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$)中,热解吸 3 min。

1.2.2.2 GC-MS 条件 气相色谱条件:色谱柱,HP-INNOWAX(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),升温程序:初始温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,以 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,以 $12\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $220\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,载气流速:0.8 mL/min,不分流,进样量:2 μL 。质谱条件:离子源温度 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$,接口温度为 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.2.3 定性定量分析 定性:样品中的挥发性成分经计算机检索,根据其保留时间计算其保留指数(RI),同时与 NIST 2011 数据库进行匹配,再与文献值相比较定性。

定量:峰面积归一法测算各化学成分的相对含量。

1.2.3 色差测定方法 参照 Humada 等^[9]测色差的方法,并在此基础上稍做修改。采用电脑式色差仪测定,测定前利用白板对色差仪进行校准,将完全解冻后的牛排放置于自然光线充足的平面,垂直于牛排肌肉横断面,将镜口贴紧牛排,保证不漏光,并在同一牛排样品 3 个不同位置分别测定 1 次,记录每次所得的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,取 3 次测量结果在平均值作为色

差读数。

1.2.4 保水性测试条件

1.2.4.1 解冻损失 参照赵改名等^[10]的方法,并在此基础上稍作修改。将样品于 0~4 ℃ 冰箱中解冻,解冻前称重质量记为 m_1 (g);解冻后用吸水纸擦拭吸去样品表面水分后称重,质量记为 m_2 (g),计算公式如下。每个样品重复测定 3 次取平均值。

$$\text{解冻损失}(\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100$$

1.2.4.2 蒸煮损失 参考 Li 等^[11]的方法,并稍作修改。每个样品各选取 3 块质量相近约 60 g 的肉样,称质量记为 m_3 (g),将样品置于高温蒸煮袋中。将中心温度计的温度探头插入肉样中心位置,扎紧袋口,放入 80 ℃ 恒温水浴锅中加热,待样品中心温度达到 70 ℃ 时,立即取出。在流水中冷却至肉样中心温度达到室温,用吸水纸吸去肉样表面水分,称重记为 m_4 (g)。计算公式如下。每个样品重复测定 3 次取平均值。

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{(m_3 - m_4)}{m_3} \times 100$$

1.2.5 质构测试条件 采用 TPA 检测牛排特性,对样品进行 2 次压缩,主要测定硬度、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性、黏附性等指标。参考李莹等^[12]研究方法做出适量调整:将各部位的牛排样品分割成 5 cm×3 cm×2 cm 的条状。TPA 测定选取 P/36 R 探头,测前速度 2 mm/s,测试速度 1 mm/s,测后速度 1 mm/s,触发力 20 g,测定时间间隔 5 s,压缩比 75%,每个样品平行测定五次取平均值。

1.2.6 氨基酸测试条件 按照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,采用氨基酸分析仪测定食品中氨基酸含量,每个样品平行测定三次取平均值。

1.3 数据分析

采用 Excel2016 进行数据处理,用 SPSS20.0 统计分析软件进行显著性分析,结果均以“平均值±标准差”来表示。 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同部位原切牛排常规营养成分分析

牛肉常规营养成分包括蛋白质、脂肪、水分等,对肉的营养和食用价值起着重要作用。水分的多少对肉加工后的品质影响较大;脂肪和蛋白质与原切牛排的营养价值密切相关,脂肪还影响着牛排的食用品质,对牛排的多汁性、嫩度和风味影响较大。牛排具有高蛋白质、低脂肪、氨基酸及脂肪酸含量丰富且比例适当的特点^[13],符合当下人们追求健康的饮食习惯。不同部位原切牛排常规营养成分见表 1。

蛋白质是肉品中重要的营养物质和基本构成成分,是影响肉品质的重要因素之一。蛋白质降解形成的多肽和含硫氨基酸是重要的风味前体物质^[14]。肉

表 1 不同部位原切牛排常规营养成分测定结果(g/100 g)

Table 1 Results of nutrient composition determination of raw cut steaks from different parts(g/100 g)

肌肉部位	蛋白质	脂肪	水分
板腱	23.73±0.11 ^a	10.67±0.51 ^c	65.43±0.61 ^b
西冷	21.60±0.36 ^b	25.83±0.47 ^a	51.67±0.93 ^d
肉眼	18.47±0.06 ^c	22.17±0.21 ^b	59.20±0.17 ^e
牛柳	21.43±0.40 ^b	4.33±0.40 ^d	73.17±0.38 ^a

注:不同字母表示具有显著性, $P < 0.05$;表4~表7同。

类的营养价值和风味通常与肉的蛋白质含量呈正相关^[15]。由表 1 可知,牛排中蛋白质含量由于部位不同而略有差异,其中板腱部位蛋白质含量最高,为(23.73±0.11)g/100 g,肉眼部位蛋白质含量最低,为(18.47±0.06)g/100 g。板腱、西冷、肉眼蛋白质含量有显著差异($P < 0.05$),西冷和牛柳之间蛋白质含量无明显差异($P > 0.05$)。

肉中脂肪含量较高会使肉具有较高的嫩度和风味,为提高牛肉的适口性,肉中脂肪含量应高于 3%^[13]。实验结果显示,四种不同部位原切牛排中的脂肪含量均大于 3%,表明适口性均较好。不同部位原切牛排组成不同,脂肪和蛋白质含量存在差异,与形成加工后的不同风味、滋味有关。结果表明,不同部位牛排之间脂肪含量呈现显著差异($P < 0.05$),中西冷脂肪含量最高为(25.83±0.47)g/100 g;肉眼次之,脂肪含量为(22.17±0.21)g/100 g;牛柳脂肪含量最低,为(4.33±0.40)g/100 g,西冷和牛柳两者之间脂肪含量差异显著($P < 0.05$);牛柳脂肪含量相比于西冷减少了 87.91%。西冷部位脂肪含量最高,适合于煎烤加工方式。

牛排中水分含量也因部位不同而呈现一定差异。水分含量高的肉类其嫩度更高,更符合消费者的感官喜好,水分含量也决定着牛排的储存性能。牛柳中水分含量最高,为(73.17±0.38)g/100 g;西冷含水量最低,为(51.67±0.93)g/100 g,牛柳和西冷含水量差异显著($P < 0.05$),西冷相比于牛柳水分含量减少了 43.05%。

2.2 不同部位原切牛排挥发性物质对比分析

2.2.1 不同部位原切牛排挥发性物质种类 由表 2 结果分析,将不同部位牛排中的风味物质进行归类,板腱、西冷、牛柳、肉眼分别检测出 50、56、48、40 种挥发性物质。原切牛排板腱部位共检测出 50 种风味物质,其中主要是相对含量分别为 71.29%、9.75%、7.51% 的醛类、酸类、酯类;原切牛排西冷部位共检测出 56 种挥发性风味物质,其中主要是相对含量分别为 67.80%、13.60%、5.96% 的醛类、醇类、酯类;原切牛排牛柳部位共检测出 48 种挥发性风味物质,其中主要是相对含量分别为 55.15%、19.47%、9.58% 的醛类、酸类、醇类;原切牛排肉眼部位共检测出 40 种挥发性风味物质其中主要是相对含量分别为 36.62%、22.91%、20.42% 的酯类、醛类、醇类。其

表 2 4 种不同部位原切牛排挥发性风味物质种类及相对含量

Table 2 Types and relative contents of volatile flavor compounds in raw cut steaks from 4 different parts

物质种类	板腱		西冷		牛柳		肉眼	
	数量	相对含量(%)	数量	相对含量(%)	数量	相对含量(%)	数量	相对含量(%)
酯类	4	7.51	4	5.96	5	5.34	11	36.62
烯类	3	1.36	3	1.12	3	4.97	1	0.65
酮类	6	0.87	4	2.92	3	2.37	2	1.25
酸类	10	9.75	6	4.65	11	19.47	3	10.60
醛类	11	71.29	18	67.80	14	55.15	5	22.91
醇类	12	6.70	15	13.60	8	9.58	14	20.42
其他	4	2.52	6	3.95	4	3.11	4	7.56
合计	50	88.50	56	95.78	48	74.20	40	73.71

中板腱、西冷、牛柳部位醛类物质最多且相对含量也最高,可能是形成原切牛排特征风味的关键种类。

2.2.2 不同部位原切牛排风味物质含量对比 为了对比分析不同部位原切牛排风味物质含量变化,对四个不同部位原切牛排板腱、西冷、肉眼、牛柳挥发性物质种类及含量进行检测对比,不同部位原切牛排风味化合物测定结果见表 3。

采用 SPME 结合 GC-MS 技术检测不同部位牛排中所含有的挥发性风味物质。由表 3 可知共检测出 100 种挥发性成分,其中酯类 15 种,烯类 5 种,酮

类 7 种,酸类 11 种,醛类 21 种,醇类 28 种,其他类物质 13 种。在板腱、牛柳、肉眼、西冷中共有的挥发性物质有 9 种,分别是邻苯二甲酸二丁酯、2,3-辛二酮、己酸、己醛、壬醛、苯甲醛、1-辛烯-3-醇、二甲基硅丙二醇、甲氧基苯基-肟。

醛类化合物主要是由不饱和脂肪酸分解产生,是肉制品的主要风味贡献物。研究表明,醛类化合物的阈值很低(0.2 μg/kg),碳原子为 3~4 个的醛具有强烈的刺激性风味,碳原子数为 5~9 的醛具有清香、油香、脂香风味,分子质量较高的醛具有与橘皮类似的

表 3 不同部位原切牛排风味化合物测定结果

Table 3 Results of flavor compounds determination of raw cut steaks from different parts

种类	中文名称	保留时间(min)	相对含量(%)			
			板腱	西冷	牛柳	肉眼
酯类	戊酸乙酯	5.23	-	-	-	0.11
	己酸乙酯	8.28	-	-	-	15.22
	2-乙基-1,2,3-丙三酯丁酸	8.70	-	-	-	0.72
	2-羟基戊酸甲酯	12.16	-	-	-	1.28
	辛酸乙酯	15.95	-	-	-	0.38
	丁酸四氢香叶酯	16.80	-	-	0.30	-
	氰基乙酸-2-乙基己基酯	18.17	-	-	-	0.56
	甲酸辛酯	20.83	6.14	5.41	2.59	-
	丁内酯	21.96	0.21	0.10	-	0.46
	2-羟基丙酸乙酯	32.16	-	-	-	6.42
	氨基甲酸二乙酯	35.51	0.19	-	-	-
	十四酸4,8,12-三甲基-甲酯	43.30	-	-	0.16	-
	1,2-苯二甲酸双(2-甲基丙基)酯	52.12	-	0.06	0.31	0.35
	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	53.83	-	-	-	0.79
	烯类	邻苯二甲酸二丁酯	54.76	0.11	0.14	0.60
D-柠檬烯		6.87	-	-	-	0.48
β-双沙泊烯		26.89	0.55	0.62	0.15	-
[R-[R*, R*(E)]]-3,7,11,15-四甲基-2-十六烯		30.24	0.14	0.36	-	-
3,7,11,15-四甲基十六碳-2-烯		32.77	0.51	-	2.02	-
新植二烯		34.54	-	0.09	1.52	-
2-辛酮		9.94	0.07	-	-	-
2,3-辛二酮		11.65	0.14	1.46	0.23	0.45
6-甲基-5-庚-2-酮		11.87	0.09	0.30	0.26	-
酮类		2-壬酮	13.92	0.33	-	-
	2-十一烷酮	22.13	0.06	-	-	0.47
	(Z)-6,10-二甲基-5,9-十一二烯-2-酮	31.35	-	0.99	1.27	-
	二氢-5-戊基-2(3H)-呋喃酮	36.13	0.08	0.05	-	-

续表 3

种类	中文名称	保留时间(min)	相对含量(%)				
			板腱	西冷	牛柳	肉眼	
酸类	醋酸	16.10	1.05	—	0.76	0.77	
	丁酸	23.06	0.27	—	1.88	0.55	
	己酸	30.98	0.53	0.57	2.66	6.49	
	庚酸	34.64	0.15	—	0.34	—	
	辛酸	38.11	0.82	0.49	1.71	—	
	壬酸	41.41	3.93	2.19	1.42	—	
	癸酸	44.60	0.96	0.68	0.91	—	
	正十六酸	49.11	0.43	—	3.95	—	
	十二酸	50.99	0.42	0.46	0.62	—	
	十三酸	53.52	—	—	0.06	—	
	十四酸	54.36	0.07	0.06	0.14	—	
	己醛	3.98	0.38	6.52	0.68	1.57	
	庚醛	6.63	0.81	2.54	—	—	
	辛醛	10.14	5.96	5.73	1.55	—	
	壬醛	14.16	49.77	31.97	10.45	2.11	
	(E)-2-辛烯醛	15.23	—	0.43	—	—	
	醛类	13-甲基十四醛	16.46	0.59	0.18	0.36	—
癸醛		18.29	4.1	2.20	1.73	—	
苯甲醛		18.47	0.37	8.33	5.66	8.77	
(E)-2-壬醛		19.39	0.16	0.64	0.21	—	
(E)-2-癸醛		23.54	—	0.60	0.21	—	
十二醛		26.36	0.17	0.15	0.14	—	
反-2-十一烯醛		27.54	—	0.60	—	—	
(E,E)-2,4-癸二烯醛		29.41	—	0.17	—	—	
十三醛		30.16	—	0.36	—	—	
十四烷醛		33.80	—	0.55	0.92	—	
十五醛-		37.25	0.14	—	—	—	
十五醛		37.29	—	0.88	1.75	—	
七醛		40.56	—	—	—	3.84	
十六醛		40.62	0.64	2.83	12.27	—	
十七醛		43.80	—	—	0.87	—	
十八醛		46.90	—	0.26	4.12	0.60	
醇类		乙醇	3.81	—	—	—	0.12
		2-甲基-1-丙醇	4.29	—	—	—	0.26
		1-丁醇	5.48	—	—	—	0.47
		3-甲基-1-丁醇	7.36	—	0.55	—	0.82
		正戊醇	8.88	0.25	1.01	0.29	—
		正己醇	12.76	0.43	1.60	—	—
		甲硫醇	16.06	—	0.20	—	—
	1-辛烯-3-醇	16.71	1.35	3.37	2.07	1.23	
	1-庚醇	16.74	—	—	—	0.15	
	庚醇	16.8	0.30	1.12	—	—	
	芳樟醇	20.55	0.18	0.15	—	0.34	
	正辛醇	20.77	—	—	—	1.02	
	[R-(R*, R*)]-2,3-丁二醇	21.21	—	—	0.33	—	
	1-甲基环庚醇	21.49	—	—	0.21	—	
	2-(2-乙氧基)-乙醇	22.64	0.11	—	—	0.56	
	反-2-十一烯-1-醇	22.94	0.33	—	—	—	
	2-辛烯-1-醇	22.97	—	1.15	—	—	
	二甲基硅丙二醇	24.45	0.75	1.58	2.12	7.23	
	1-壬醇	24.73	1.14	0.91	0.49	—	
	10-十一烯-1-醇	25.47	—	0.19	—	—	
	1,7,7-三甲基-甲酸酯内酰胺-双环[2.2.1]庚烷-2-醇	25.55	—	—	—	1.41	

续表 3

种类	中文名称	保留时间(min)	相对含量(%)			
			板腱	西冷	牛柳	肉眼
	香叶醇	31.30	0.26	-	-	-
	1-十一烯醇	32.08	0.13	0.53	-	-
	1,4-丁二醇	33.38	-	-	-	0.82
	1-十二烷醇	35.54	-	0.19	-	0.40
	十四醇	42.01	-	0.05	0.16	-
	甘油	44.86	0.70	0.43	1.44	-
	十六醇	53.60	-	-	-	0.22
	1,2-二乙酰肼	8.04	-	-	-	0.67
	1,3-双(1,1-二甲基乙基)-苯	15.64	0.31	0.95	-	-
	萘	26.21	0.08	-	-	-
	异龙脑	26.54	-	0.28	-	-
	1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基-苯	28.48	0.87	1.16	0.33	-
其它	甲氧基苯基-肼	29.18	0.97	1.02	1.52	2.58
	茴香脑	29.86	-	-	-	1.94
	苯酚	35.85	-	-	-	0.38
	对甲酚	38.40	-	0.18	-	-
	2,4-二叔丁基苯酚	46.03	-	0.19	-	-
	2,3-二氢噻吩	46.39	-	-	0.28	-
	吲哚	48.27	-	-	0.18	-

注: -表示未检出。

风味,支链醛则具有令人愉快的甜味或水果特征风味^[16]。醛类物质通常呈现具有青香、油脂香味特征^[17]。由表 3 可以看出,不同部位原切牛排醛类物质含量为西冷>板腱>牛柳>肉眼。壬醛在各部位原切牛排中占比均较高,其中板腱中相对含量为 49.77%;西冷部位中相对含量为 31.97%;牛柳部位中相对含量为 10.45%;肉眼部位中相对含量为 2.11%。壬醛具有强烈的油脂气息,是油酸氧化的产物,稀释时呈现出玫瑰和柑橘样的香气^[18],也是原切牛排 4 个不同部位的主要挥发性物质之一。苯甲醛则是苯丙氨酸的降解产物,苯甲醛在西冷、牛柳、肉眼中的相对含量较高,分别为 8.33%、5.66%、8.77%,而在牛柳部位中含量偏低,为 0.37%;辛醛在板腱和西冷中相对含量较高,分别为 5.96%、5.73%,在牛柳中相对含量为 1.55%,肉眼中未检出。苯甲醛、辛醛、十二醛类都可呈现令人愉快的香味,对提供原切牛排的风味也有主要作用。己醛具有刺激的辛辣味,是肉品中重要风味物质。在许多鸭肉制品中都有着较高的检出量^[19]。因此,醛类物质是肉制品风味物质主要提供者,板腱、西冷两个部位醛类物质相对含量较高。

醇类化合物可由亚麻酸氧化降解产生,呈现了蜜甜、蘑菇味、水果香等多种气味特征^[20]。肉眼所含醇类物质种类最多,为 14 种,相对含量最高,为 20.42%。1-辛烯-3-醇为脂肪族不饱和醇,具有蘑菇、干草香气特征,在 4 个不同部位板腱、西冷、牛柳、肉眼牛排中相对含量分别为 1.35%、3.37%、2.07%、1.23%。其次为二甲基硅丙二醇,此物质在肉眼中相对含量最高,为 7.23%,在板腱、西冷、牛柳中相对含量分别为 0.75%、1.58%、2.12%。其他醇类物质有正戊醇、

正己醇、1-壬醇,也为原切牛排提供特殊风味。

酸类物质往往阈值较高,它们主要来自于脂肪的水解和氧化,还有一部分酸来自于支链氨基酸的降解。虽然酸类物质挥发性较低,但对形成肉香味有着不可忽视的基底作用。因此酸类物质对牛排整体风味起着微弱的调节作用^[19]。牛柳所含酸类物质种类最多,为 11 种,其相对含量也最高,为 19.47%;西冷部位所含酸类的相对含量最低,为 4.65%。其中,壬酸在板腱、西冷、牛柳中含量较高,在肉眼中未检出。长链脂肪酸类化合物如十四酸、十六酸等,则可能是醇、醛氧化生成的。

酯类化合物主要因游离脂肪酸与脂肪氧化产生的醇酯化反应形成,短链脂肪酸酯化产生的酯具有果香味,而长链脂肪酸酯化生成的酯呈油脂味^[21]。四个部位中,肉眼中酯类化合物种类最多,为 11 种,相对含量最高,为 36.62%,对肉类风味物质贡献较大,可能与肉眼脂肪含量高有一定关系。甲酸辛酯在板腱、西冷、牛柳中含量相对较高,分别为 6.14%、5.41%、2.59%,甲酸辛酯具有清甜的水果香气,对牛排风味有一定贡献作用。在肉眼中己酸乙酯含量最高,其相对含量为 15.22%,其次为 2-羟基丙酸乙酯,其相对含量为 6.42%,己酸乙酯具有水果味,并具有较低呈味阈值。

萜类化合物及 2,4-二叔丁基酚(抗氧化剂)可能来源于动物饲料,而萘可能来源于环境污染^[22]。

风味物质数量差异还可能与运动有关,板腱处于牛腹部处,脂肪积累较多,经加热之后风味物质数量占优。牛柳是牛接近后腿部位肉,属于运动部位,蛋白质含量高,脂肪含量低,风味较差。

2.3 不同部位原切牛排色差对比分析

不同部位原切牛排色差对比分析结果见表4。肉色可以作为肌肉外观评定的关键因素,也与消费者购买欲望密切相关^[23],颜色象征肉的新鲜度,牛肉品种、肉色、营养状况、生存环境等都是影响肉色的因素^[24]。原切牛排的肉色是消费者评判肉质好坏的最直观的指标,消费者会认为新鲜牛排往往呈现鲜红色或桃红。由表3可知, L^* 值代表肉的亮度,板腱的 L^* 值最大为 40.89 ± 0.75 ,牛柳的 L^* 值最低为 33.49 ± 0.93 。板腱、西冷、肉眼的 L^* 值之间无显著性差异($P>0.05$),但牛柳的 L^* 值与其余三个部位之间呈现显著性差异($P<0.05$),可能是因为牛柳中肌红蛋白含量最高, L^* 值与肌红蛋白含量呈现负相关性^[25]。 a^* 代表肉的红色, a^* 为正表示红色, a^* 为负值,表示绿色,其中肉眼的 a^* 值最大,为 22.00 ± 1.91 ,牛柳的 a^* 值最低,为 13.70 ± 1.67 。板腱和牛柳的 a^* 值无显著性差异($P>0.05$),西冷和肉眼之间的 a^* 值存在显著性差异($P<0.05$)。 b^* 值代表肉的黄蓝色, b^* 为正值,表示黄色, b^* 为负值,表示蓝色。西冷的 b^* 值最高,为 7.71 ± 0.20 ,牛柳的 b^* 值最低,为 3.48 ± 0.11 。西冷和肉眼 b^* 之间无显著性差异($P>0.05$),西冷、板腱、牛柳 b^* 之间存在显著性差异($P<0.05$)。 b^* 值的大小与肉中高铁肌红蛋白差异有关。通过色差分析可知,牛柳在 L^* 、 a^* 、 b^* 值均最小,其亮度最低、肉色偏浅,感光性能不如其他三个部位。瘦肉颜色与肌红蛋白的数量相关,牛柳部位肌红蛋白数量相对其余三个部位较少。

表4 不同部位原切牛排色差测定结果
Table 4 Test results of color difference of original cut steak in different parts

不同部位	L^*	a^*	b^*
板腱	40.89 ± 0.75^a	14.54 ± 0.29^c	5.39 ± 0.22^b
西冷	39.21 ± 0.91^a	18.19 ± 1.40^b	7.71 ± 0.20^a
肉眼	38.76 ± 0.93^a	22.00 ± 1.91^a	7.50 ± 0.11^a
牛柳	33.49 ± 2.09^b	13.70 ± 1.67^c	3.48 ± 0.11^c

2.4 不同部位原切牛排解冻损失与蒸煮损失对比分析

产品蒸煮损失率的控制非常重要,蒸煮后的产品变化可能影响产品适口性。不同部位原切牛排解冻损失与蒸煮损失测定结果见表5。保水性是指肌肉组织中添加水分和保持水分的能力,牛肉的保水性影响着肉的嫩度、风味、多汁性^[26]。由表4可以看出,板腱的解冻损失率最低,为 $5.52\%\pm 0.76\%$,牛柳

解冻损失率最高,为 $10.36\%\pm 0.58\%$,板腱和西冷、牛柳的解冻损失率存在显著差异($P<0.05$)。西冷和牛柳的解冻损失率不存在显著差异($P>0.05$)。肉类的解冻损失率与肉的蛋白质含量和肉的pH相关,共同影响着肉的保水性^[27]。板腱部位所含蛋白质含量最高,因而其解冻损失率最低。不同部位牛排蒸煮损失率无显著差异($P>0.05$),肉眼的蒸煮损失率最大,为 $26.96\%\pm 3.45\%$,西冷的蒸煮损失率最低,为 $25.01\%\pm 4.88\%$,但四个部位牛排蒸煮损失率均不存在显著性差异($P>0.05$)。解冻损失率高的肉类,不适合于冷冻保存,牛柳部位解冻损失率较高,不适宜于冷冻保存,较适合于加工牛肉干、牛肉条等肉类制品;板腱解冻损失率最低,适合于冷冻保存。

表5 不同部位原切牛排解冻损失与蒸煮损失测定结果
Table 5 Results of thawing loss and cooking loss of raw cut steak in different parts

肌肉部位	解冻损失率(%)	蒸煮损失率(%)
板腱	5.52 ± 0.76^b	25.72 ± 2.24
肉眼	7.21 ± 3.04^{ab}	26.96 ± 3.71
西冷	10.00 ± 2.08^a	25.01 ± 4.88
牛柳	10.36 ± 0.58^a	26.49 ± 3.45

2.5 不同部位牛排质构品质对比分析

不同部位原切牛排质构测定结果见表6。硬度反映的是使食品变形所需要的力,由表6可知,板腱硬度最大,为 $(90.05\pm 3.75)\text{N}$;其次为牛柳 $(86.29\pm 5.11)\text{N}$;肉眼硬度最小,为 $(62.54\pm 12.01)\text{N}$ ($P<0.05$)。大理石花纹会因脂肪的沉积愈加明显,直观反映着原切牛排的嫩度、硬度等方面的指标^[28]。咀嚼性是指把固态食品咀嚼成能够吞咽状态所需要的能量,咀嚼性反映牛肉对咀嚼的持续抵抗能力,该值越小,嫩度越高。板腱咀嚼性最大,为 $(171.16\pm 36.5)\text{mJ}$,可能与板腱所含有的肌间纤维较多有关,肉眼咀嚼性最小,为 $(119.96\pm 30.43)\text{mJ}$,可能与其脂肪含量较多有关。由结果可知,原切牛排硬度和咀嚼性成正相关。胶原蛋白含量与肉类硬度密切相关,由此可推测板腱部位胶原蛋白含量最少,导致其硬度与咀嚼性均最高。黏附性是食品表面和其它物体(舌、牙、口腔)附着时,剥离它们所需要的力,不同部位原切牛排黏附性之间呈现显著性差异($P<0.05$),其中肉眼黏附性最大,为 $(16.00\pm 1.36)\text{N}$,板腱黏附性最小,为 $(1.37\pm 0.33)\text{N}$,肉眼和板腱黏附性出现显著性差异($P<0.05$),西冷和牛柳之间黏附性无显著性差异($P>0.05$)。内

表6 不同部位原切牛排质构测定结果

Table 6 Results of texture determination of original cut steaks from different parts

部位	内聚性(Ratio)	弹性(mm)	胶黏性(N)	咀嚼性(mJ)	黏附性(mJ)	硬度(N)
板腱	0.35 ± 0.08^a	6.07 ± 1.99^a	28.28 ± 6.56^a	171.16 ± 36.5^a	1.37 ± 0.33^c	90.05 ± 3.75^a
西冷	0.28 ± 0.02^a	5.13 ± 0.31^a	31.51 ± 2.94^a	160.89 ± 6.30^a	8.41 ± 3.03^b	85.37 ± 4.99^a
肉眼	0.34 ± 0.02^a	5.18 ± 0.70^a	23.74 ± 8.35^a	119.96 ± 30.43^a	16.00 ± 1.36^a	62.54 ± 12.01^b
牛柳	0.35 ± 0.04^a	5.04 ± 1.39^a	34.53 ± 1.04^a	169.21 ± 53.87^a	6.75 ± 3.58^b	86.29 ± 5.11^a

聚性反映咀嚼食物时食物抵抗受损并紧密连接,使食物保持完整的性质,不同部位板腱、西冷、肉眼、牛柳之间无显著性差异($P>0.05$),内聚性与肌肉中肌球蛋白 ATP 酶活性有关,ATP 不断消耗,肌原纤维降解,内聚性随之减小^[29]。弹性反映食物在受到外力作用发生形变,外力消失时恢复原来状态的能力。板腱弹性最大,为(6.07±1.99)mm,牛柳弹性最小,为(5.04±1.39)mm,板腱、西冷、肉眼、牛柳四个部位原切牛排弹性之间无显著性差异($P>0.05$)。不同部位原切牛排胶黏性之间无显著性差异($P>0.05$),其中牛柳黏附性最大,为(34.53±1.04)N,肉眼胶黏性最小,为(23.74±8.35)N。牛肉胶黏性差异可能与动物肌原纤维种类、粗细程度和肌肉中组织蛋白酶种类及其含量密切相关。

综上所述,四个不同部位原切牛排中,板腱硬度、咀嚼性和弹性最大,黏附性最小;肉眼硬度和咀嚼性最小,黏附性最大;牛柳弹性最小,肉眼食用品质及适口性最好。

2.6 不同部位原切牛排氨基酸组成与营养价值对比分析

不同部位原切牛排氨基酸组分测定结果见表 7。由表 7 可知,不同原切牛排中氨基酸总量存在差异。氨基酸总量由大至小依次为牛柳>肉眼>西冷>板腱。在总共检出的 16 种氨基酸中,谷氨酸含量最高,也是肉品鲜味物质的主要来源,其次依次为天门冬氨酸、赖氨酸、精氨酸、亮氨酸。此结果与候成立^[30]对不同部位牦牛肉研究结果一致。根据 Nina

等^[31]对氨基酸滋味特征的描述,17 种氨基酸可根据其呈味特征分为鲜味、甜味、苦味和无味。其中鲜味氨基酸有天门冬氨酸和谷氨酸;苏氨酸、甜味氨基酸有丝氨酸、甘氨酸和丙氨酸;苦味氨基酸有组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、酪氨酸、精氨酸、蛋氨酸和苯丙氨酸;其他氨基酸为无味氨基酸。

依据 FAO/WHO 标准模式,品质较优的蛋白质组成中 EAA/TAA 结果应在 40% 左右,EAA/NEAA 结果应在 60% 以上。4 个不同部位原切牛排的 EAA/TAA 以及 EAA/NEAA 结果相近,4 个不同部位原切牛排中,牛柳、肉眼、板腱、西冷 EAA/TAA 分别为 39.80%、39.10%、38.90%、39.50%;四个不同部位原切牛排 EAA/NEAA 分别为 66.00%、64.30%、63.80%、65.50%。不同部位原切牛排的比例结果与高媛等^[32]在风干牦牛肉研究中的原料肉结果一致,同时可以得出四个部位原切牛排中氨基酸含量都很丰富、比例适宜,且含有人体所需的必需氨基酸,是优质蛋白质的来源。非必需氨基酸中,原切牛排的谷氨酸和组氨酸含量也相对较高,在肉类中,谷氨酸和组氨酸含量高,代表肉的品质较高,容易被人体消化吸收,属于优质牛肉^[33]。牛肉中主要呈现鲜味的氨基酸有谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸、丙氨酸、甘氨酸^[34]。EAA 是合成蛋白质的重要原料,必须从食物中获取^[35]。呈味氨基酸是肉中优质蛋白质的组成成分,对机体健康有影响,预防高血压等疾病^[36]。本试验结果表明,四个不同部位原切牛排的鲜味氨基酸均较高,说明其不仅营养价值较高且风味较好。

表 7 不同部位原切牛排氨基酸组分测定结果

Table 7 Results of amino acid composition determination of original cut steak from different parts

项目	牛柳(g/100 g)	肉眼(g/100 g)	板腱(g/100 g)	西冷(g/100 g)
天门冬氨酸(Asp)	1.919±0.011 ^a	1.787±0.003 ^b	1.594±0.056 ^c	1.731±0.005 ^d
苏氨酸(Thr)	0.963±0.041 ^a	0.886±0.100 ^b	0.777±0.020 ^c	0.846±0.015 ^d
丝氨酸(Ser)	0.781±0.006 ^a	0.745±0.006 ^a	0.675±0.015 ^b	0.688±0.037 ^b
谷氨酸(Glu)	3.366±0.012 ^a	3.173±0.002 ^b	2.981±0.102 ^c	3.048±0.007 ^c
甘氨酸(Gly)	0.852±0.02	0.891±0.007	0.815±0.044	0.855±0.061
丙氨酸(Ala)	1.179±0.011 ^a	1.121±0.001 ^b	0.998±0.041 ^c	1.072±0.004 ^d
缬氨酸(Val)	0.977±0.092 ^a	0.916±0.003 ^b	0.799±0.033 ^c	0.894±0.014 ^b
蛋氨酸(Met)	0.582±0.001 ^a	0.517±0.002 ^b	0.452±0.014 ^c	0.508±0.001 ^b
异亮氨酸(Ile)	0.936±0.046 ^a	0.865±0.001 ^b	0.742±0.025 ^c	0.846±0.007 ^b
亮氨酸(Leu)	1.721±0.008 ^a	1.568±0.008 ^b	1.421±0.052 ^d	1.499±0.002 ^c
酪氨酸(Tyr)	0.802±0.002 ^a	0.747±0.005 ^b	0.666±0.025 ^d	0.716±0.002 ^c
苯丙氨酸(Phe)	0.855±0.004 ^a	0.784±0.001 ^b	0.701±0.024 ^d	0.754±0.002 ^c
赖氨酸(Lys)	1.875±0.005 ^a	1.732±0.003 ^b	1.559±0.061 ^d	1.671±0.003 ^c
组氨酸(His)	0.762±0.006 ^a	0.746±0.001 ^a	0.512±0.022 ^c	0.714±0.003 ^b
精氨酸(Arg)	1.303±0.012 ^a	1.250±0.013 ^b	1.155±0.035 ^c	1.208±0.031 ^b
脯氨酸(Pro)	0.715±0.009 ^a	0.732±0.004 ^a	0.698±0.037 ^a	0.692±0.036 ^a
TAA	19.589±0.076 ^a	18.464±0.009 ^b	16.550±0.603 ^d	17.746±0.172 ^c
EAA	7.799±0.104 ^a	7.222±0.067 ^b	6.453±0.226 ^c	7.020±0.009 ^b
NEAA	11.800±0.095 ^a	11.242±0.076 ^b	10.098±0.377 ^d	10.726±0.181 ^c
EAA/TAA	0.398±0.005 ^a	0.391±0.003 ^{ab}	0.389±0.001 ^b	0.395±0.004 ^{ab}
EAA/NEAA	0.660±0.013 ^a	0.643±0.010 ^{ab}	0.638±0.001 ^b	0.655±0.009 ^{ab}

3 结论

通过对市售销量较高的4个部位原切牛排各指标分析检测发现:牛柳脂肪含量最低,水分含量最高;西冷脂肪含量最高,水分含量最低;板腱和肉眼部位常规营养成分较为适中;4个部位共检出100种挥发性风味物质,板腱、西冷、肉眼、牛柳分别检测出50、56、40、48种挥发性物质,醛类、酸类、酯类在4个部位原切牛排中含量均较高,其中醛类物质占比最高,是牛排的主要风味物质。牛柳与其他三个部位的 L^* 、 a^* 、 b^* 存在显著性差异($P<0.05$),亮度最低,颜色偏浅;4个不同部位原切牛排蒸煮损失率普遍较低,板腱因其蛋白质含量最高,解冻损失率最低为,适合于冷冻保存,牛柳解冻损失率最高;质构指标中,板腱硬度与咀嚼性均最高,肉眼硬度和咀嚼性均最低,肉眼食用品质及适口性最好。4个不同部位原切牛排中氨基酸总含量差异不明显,其中牛柳较高,4个不同部位原切牛排均为谷氨酸和组氨酸含量较高,属于优质蛋白质。本研究为消费者和餐饮企业选取原切牛排提供了客观、科学的理论依据和参考,保护了消费者的利益,维持了市场经济秩序。

参考文献

- [1] 穆静,孙慧琳,查恩辉.不同储藏条件对牛肉品质的影响[J].保鲜与加工,2022,22(7):21-30. [MU J, SUN H J, CHA E H. Effects of different storage conditions on beef quality[J]. Preservation and Processing, 2022, 22(7): 21-30.]
- [2] 朱青云,谭亮,赵静.青海高原地区牦牛肉营养成分分析与品质评价[J].食品与生物技术学报,2021,40(11):97-111. [ZHU Q Y, TAN L, ZHAO J. Analysis of nutritional compositions and quality evaluation of yak meat from Qinghai plateau regions[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(11): 97-111.]
- [3] 李慧,连海飞,王德宝.不同部位西门塔尔牛肉理化品质分析及烤制加工适宜性的研究[J].畜牧与饲料科学,2021,42(3):97-101. [LI H, LIAN H F, WANG D B. Analysis of physical-chemical quality and suitability evaluation for roast processing of beef cuts from different parts of simmental cattle[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2021, 42(3): 97-101.]
- [4] 郎玉苗,杨春柳,孙宝忠.安格斯×秦川育肥牛牛体不同部位肌肉肉质特性比较分析[J].黑龙江畜牧兽医,2019(3):52-57. [LANG Y M, YANG C L, SUN B Z. Meat quality characteristics of different muscles from fattened Angus×Qinchuan cattle[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019(3): 52-57.]
- [5] 刘雪霏,游佳伟,程可欣.不同部位牛肉烤制加工的适宜性[J].食品科学,2021,42(11):86-93. [LIU X F, YOU J W, CHENG K X. Roasting suitability of different beef from different cuts[J]. Food Science, 2021, 42(11): 86-93.]
- [6] GB 5009.3-2016,食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [GB 5009.3-2016, National Food Safety Standard. Determination of moisture in foods[S]. BEIJING: Standards Press of China, 2016.]
- [7] GB 5009.6-2016,食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [GB 5009.6-2016, National Food Safety Standard. Determination of fat in foods[S]. BEIJING: Standards Press of China, 2016.]
- [8] GB 5009.5-2016,食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [GB 5009.5-2016, National Food Safety Standard. Determination of protein in foods[S]. BEIJING: Standards Press of China, 2016.]
- [9] HUMADA MJ, SAÑUDO C, SERRANO E. Chemical composition, vitamin E content, lipid oxidation, colour and cooking losses in meat from Tudanca bulls finished on semi-extensive or intensive systems and slaughtered at 12 or 14 months[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 908-915.
- [10] 赵改名,王可,祝超智.青海高原型牦牛不同部位肉的品质差异研究[J].食品研究与开发,2020,41(13):60-65. [ZHAO G M, WANG K, ZHU C Z. Study on eat quality differences of different parts of qinghai high-prototype yak[J]. Food Research and Development, 2020, 41(13): 60-65.]
- [11] LI Chunbao, CHEN Yinji, XU Xinglian, et al. Effects of low-voltage electrical stimulation and rapid chilling on meat quality characteristics of Chinese elow crossbredbulls[J]. Meat Science, 2010, 72(1): 9-17.
- [12] 李莹,张伟敏,黄海珠.三种猪肉质特性比较研究[J].食品研究与开发,2018,39(10):22-27. [LI Y, ZHANG W M, HUANG H Z. Comparative study on the texture characteristics of three kinds of pork[J]. Food Research and Development, 2018, 39(10): 22-27.]
- [13] KAZALA E C, LOZEMAN F J, MIR P S, et al. Relationship of fatty acid composition to intramuscular fat content in beef from crossbred Wagyu cattle[J]. Journal of Animal Science, 1999, 77(7): 1717-1725.
- [14] 张哲奇,臧明伍,张凯华,等.国内外肉品品质变化机制机理研究进展[J].肉类研究,2017,31(2):57-63. [ZHANG Z Q, ZANG M W, ZHANG K H, et al. State of the art in worldwide studies on mechanism of meat quality changes[J]. Meat Research, 2017, 31(2): 57-63.]
- [15] 李娜,常紫阳,余群力,等.新疆褐牛不同部位肉品质特性研究[J].现代农业科技,2019(5):217-219. [LI N, CHANG Z Y, YU Q L. Study on eat quality characteristics of different parts of xinjiang brown cattle[J]. Modern Agricultural Technology, 2019(5): 217-219.]
- [16] 王可.不同部位青海高原型牦牛肉加工特性与加工适宜性研究[D].郑州:河南农业大学,2020. [WANG K. Study on processing characteristics and suitability of Qinghai plateau yak meat from different parts [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2020.]
- [17] 陈红霞.伊拉兔生长过程中挥发性风味物质的变化及其定量研究[D].重庆:西南大学,2014. [CHEN H X. Quantitative study on changes of volatile flavor compounds of Hyla rabbit during the growth[D]. Chongqing: Southwest University, 2014.]
- [18] 赵万余,李爱华.宁夏滩羊不同部位肉中挥发性风味物质分析[J].安徽农业科学,2012,40(5):2725-2727. [ZHAO W Y, LI A H. Volatile flavor composition in mutton of Ningxia Tan sheep[J]. Journal of Anhui Agriculture and Science, 2012, 40(5): 2725-2727.]
- [19] 侯莉,赵健,赵梦瑶.炖煮牛肉的风味物质分析[J].中国食品学报,2017,17(9):260-270. [HOU L, ZHAO J, ZHAO M Y. Analysis of the flavor compounds from stewed beef[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(9): 260-270.]
- [20] 柯海瑞.高温处理对牛肉脂肪及挥发性风味物质的影响研究[D].郑州:河南科技大学,2020. [KE H R. Effect of high temperature treatment on beef fat and volatile flavors[D]. Zhengzhou:

- Henan University of Science and Technology, 2020.]
- [21] 王恒鹏,吴鹏,陈胜姝,等.排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味物质的影响[J].食品与机械,2018,34(12):16-21. [WANG H P, WU P, CHEN S S, et al. Effects of aging time and cooking degree on volatile flavors of beef[J]. Food & Machinery, 2018, 34(12): 16-21.]
- [22] DEL, OLMO, ANA. Effect of high pressure processing and modified atmosphere packaging on the safety and quality of sliced ready-to-eat "lacon", a cured-cooked pork meat product[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 23(Null).
- [23] MANCINI A, SUMAN S P, KONDA M K R, et al. Effect of carbon monoxide packaging and lactate enhancement on the color stability of beef steaks stored at 1°C for 9 days[J]. Meat Science, 2009, 81(1): 71-76.
- [24] SARR S M V, BERIAIN M J. Colour and texture characteristics in meat of male and female foals[J]. Meat Science, 2006, 74(4): 738-745.
- [25] 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.]
- [26] BARTOŇLUDEK, BUREŠD, KOTRBA, R, et al. Comparison of meat quality between eland (*Taurotragus oryx*) and cattle (*Bos taurus*) raised under similar conditions[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 346-352.
- [27] 赵改名,茹昂,郝婉名.不同母本西门塔尔杂交牛各部位肉品质与蛋白质功能特性的差异[J].食品与发酵工业,2021,47(7):78-85. [ZHAO G M, RU A, HAO W M. Comparison of meat quality and protein functional properties of different maternal Simmental hybrid cattle[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(7): 78-85.]
- [28] LEE B, YOON S, CHOI Y M. Comparison of marbling fleck characteristics between beef marbling grades and its effect on sensory quality characteristics in high-marbled Hanwoo steer[J]. Meat Science, 2019, 152(Jun.): 109-115.
- [29] 敖冉,赵雪聪,王伟,等.驴肉在低温成熟过程中质构变化研究[J].食品工业,2016,37(7):126-128. [AO R, ZHAO X C, WANG W, et al. Research on the texture index of donkey meat during the postmortem aging at low temperature[J]. Food Industry, 2016, 37(7): 126-128.]
- [30] 侯成立,李欣,王振宇.不同部位牦牛肉氨基酸、脂肪酸含量分析与营养价值评价[J].肉类研究,2019,33(2):52-57. [HOU C L, LI X, WANG Z Y. Amino acid and fatty acid composition and nutritional value evaluation of different yak meat cuts[J]. Meat Research, 2019, 33(2): 52-57.]
- [31] NINA R, ANDREAS D, THOMAS H. Quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments on the key taste compounds in morel mushrooms (*Morchella deliciosa* Fr.)[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2705-2711.
- [32] 高媛,黄彩霞,冯岗.风干牦牛肉氨基酸与脂肪酸组成分析评价[J].食品工业科技,2013,34(13):317-320. [GAO Y, HUANG C X, FENG G. Amino acid and fatty acid composition assay of airing yak meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(13): 317-320.]
- [33] 罗毅皓,刘书杰.青海大通牦牛肉氨基酸及风味分析[J].食品科技,2010,35(2):106-110,113. [LUO Y H, LIU S J. Study on the nutrient and flavor of Datong yak meat[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(2): 106-110,113.]
- [34] 邱翔,张磊,文勇立,等.四川牦牛、黄牛主要品种肉的营养成分分析[J].食品科学,2010,31(15):112-116. [QIU X, ZHANG L, WEN Y L, et al. Nutritional composition analysis of meat from yak and yellow cattle in Sichuan[J]. Food Science, 2010, 31(15): 112-116.]
- [35] LI P, MAIK S, TRUSHENSKI J, et al. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds[J]. Amino Acids, 2009, 37(1): 43-53.
- [36] LARSSON T, KOPPANG E O, ESPE M, et al. Fillet quality and health of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a diet supplemented with glutamate[J]. Aqua-Culture, 2014, 426-427(1): 288-295.