

不同部位察哈尔手抓羊肉品质差异分析

察丽罕¹, 宋玉¹, 郭玉杰¹, 张春晖^{1,2}, 王晶^{3*}, 迟明⁴, 张艳珍⁴, 黄峰^{1,2*}

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

(2. 中国农业科学院西部农业研究中心, 新疆昌吉 831100)(3. 新疆畜牧科学院, 新疆乌鲁木齐 830011)

(4. 青海省轻工业研究有限责任公司, 青海西宁 810000)

摘要: 为研究不同部位察哈尔羊肉对内蒙手抓羊肉品质的影响, 该研究以后腿、脊骨、肋排制作的手抓羊肉为研究对象, 进行理化性质、营养成分分析, 并利用感官评价结合电子鼻、气相色谱-质谱联用技术和气相色谱-离子迁移谱技术对风味进行分析。原料肉中后腿蛋白含量(23.73%)、水分含量(70.61%)最高, 但脂肪含量低。肋排部位手抓肉的剪切力小于其他部位, 拥有较好的色泽(L^* 为36.6)。加工成手抓肉后的亮度值、黄度值和pH值升高, 红度值下降。电子鼻可以有效地区分三个部位的手抓肉的挥发性物质。不同部位手抓肉中, GC-MS共检测出65种挥发性物质, 共有9种关键挥发性风味物质。不同部位手抓羊肉风味中, 肋排煮制成的手抓肉的醛类、醇类含量最高, 且其感官评价的风味得分最高。脊骨的酯类、酮类物质含量最高。综上所述, 结合感官评价在察哈尔羊不同部位手抓羊肉中肋排嫩度和风味最好、后腿口感最好, 结果旨在为探究煮制加工后不同部位手抓羊肉的品质特性及风味上提供数据支撑。

关键词: 察哈尔羊肉; 手抓羊肉; 挥发性物质; 煮制; 品质

文章编号: 1673-9078(2026)5-268-279

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.05.0046

Quality Differences among Different Cuts of Chahar Hand-grabbed Mutton

CHA Lihan¹, SONG Yu¹, GUO Yujie¹, ZHANG Chunhui^{1,2}, WANG Jing^{3*}, CHI Ming⁴, ZHANG Yanzhen⁴, HUANG Feng^{1,2*}

(1. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)(2. Institute of Western Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences Changji 831100, China)(3. Xinjiang Academy of Animal Science, Urumqi 830011, China)

(4. Qinghai Light Industry Institute Co. Ltd., Xining 810000, China)

Abstract: To investigate the effects of different cuts of Chahar mutton on the quality of Inner Mongolian hand-grabbed mutton, the physicochemical properties, nutritional composition, and texture characteristics of both raw meat and prepared hand-grabbed mutton from the hind leg, backbone, and ribs were analyzed. Sensory evaluation, electronic nose analysis, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) were performed to identify key volatile flavor compounds. The hind leg exhibited the highest protein content (23.73%) and moisture content (70.61%) among the three cuts, whereas its fat content was relatively low. Hand-grabbed mutton prepared from the rib cut showed a lower shear force than the other cuts and displayed better color characteristics, with an L^* value of 36.6. After processing into hand-grabbed mutton, brightness, yellowness, and pH values increased, whereas redness decreased. The electronic nose effectively differentiated the volatile profiles

引文格式:

察丽罕,宋玉,郭玉杰,等.不同部位察哈尔手抓羊肉品质差异分析[J].现代食品科技,2026,42(5):268-279.

CHA Lihan, SONG Yu, GUO Yujie, et al. Quality differences among different cuts of Chahar hand-grabbed mutton [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(5): 268-279.

收稿日期: 2025-01-10; 修回日期: 2025-07-13; 接受日期: 2025-07-20

基金项目: 新疆维吾尔自治区羊产业技术体系(XJARS-09-13); 新疆维吾尔自治区“天山人才”培养计划项目(2022TSYCCX0048);

作者简介: 察丽罕(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全与加工, E-mail: cha_5988@163.com

通讯作者: 黄峰(1982-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: fhuang226@163.com; 共同通讯作者: 王晶(1983-), 女, 博士, 正高级实验师, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: 4459247@qq.com

of hand-grabbed mutton from the three cuts. A total of 65 volatile compounds were identified in hand-grabbed meat using GC-MS, including nine key flavor compounds. Hand-grabbed ribs exhibited the best flavor quality, showing the highest sensory evaluation scores and the highest contents of aldehydes and alcohols. In contrast, hand-grabbed backbone meat contained the highest levels of esters and ketones. Overall, sensory evaluation indicated that ribs provided the best tenderness and flavor, while hind legs exhibited superior texture. These findings provide data support for understanding the quality and flavor characteristics of different cuts of Chahar hand-grabbed mutton after cooking and processing.

Key words: Chahar sheep; hand-grabbed mutton; volatile compounds; cooking; quality

手抓羊肉是我国西北地区的特色菜肴,以炖煮简单、风味自然而闻名,是我国蒙、藏、回、维等民族的传统食品。不同地区手抓羊肉的加工方式不尽相同,宁夏、新疆等地手抓羊肉炖煮一般不加入食盐,而内蒙古手抓羊肉需要加入食盐。目前关于宁夏滩羊^[1]、青海藏羊等手抓羊肉的研究较多,如赵冰等^[2]研究了不同区域水对宁夏手抓羊肉滋味特性的影响,方婕等^[3]研究了不同贮藏方式对手抓藏羊肉风味形成的影响,而关于内蒙古手抓羊肉的研究相对较少。内蒙古手抓羊肉多以当地的察哈尔羊为原料,察哈尔羊作为我国优良的地方羊品种,其肉质柔软而不肥腻,脂肪含量适中,具有出肉率高、瘦肉率高等特点^[4]使其成为当地民众在烹饪中使用的优质食材。由于羊肉不同部位在水分、脂肪和蛋白质等成分含量和组成上的不同导致炖煮后其风味、嫩度和口感会表现出明显的不同^[5]。如因羊肉原料肌内脂肪差异的影响,在烹饪后会产生不同的芳香化合物,从而呈现不同的香味特征对其风味特征起着至关重要的作用^[6,7]。巴吐尔·阿不力克木等^[8]研究表明,不同部位肌肉的脂肪、蛋白质的差异会影响肌肉中发生的代谢反应,进而引起羊肉嫩度、色泽和多汁性等食用品质的差异。本研究通过采用肋排、脊骨和后腿三个常用部位的察哈尔羊肉,深入探讨它们在传统内蒙古手抓羊肉加工工艺中的差异,明确肋排、脊骨、后腿三个部位原料肉的基本成分组成,解析不同部位手抓羊肉颜色、质构、风味等品质差异,为内蒙古手抓羊肉品质提升提供技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

察哈尔羊购于内蒙古自治区锡林郭勒盟正镶白旗第一商业屠宰场,选取24月龄饲养条件一致的去势公羊5只。经屠宰成熟48 h后,取肋排、脊骨、后腿三个部位带骨羊肉,真空包装冷冻运输至实验室, -18℃冰箱保存待用。

ME403 电子分析天平,梅特勒-托利多仪器(上

海)有限公司;便携式pH208计, testo 公司; CR-400 色差仪,日本柯尼卡美能达公司; DH-101-3BS 型电热恒温鼓风干燥箱,天津市中环实验电炉有限公司; K9840 自动凯氏定氮仪,山东海能科学仪器有限公司; TA-XT plus 质地分析仪,英国 Stable Micro Systems 公司; PEM3 电子鼻,德国 Airsense 公司; Flavour Specs® 食品风味分析与质量控制系统(配备 Laboratory Analytical Viewer (LAV) 分析软件及 GCIMS Library Search 定性软件),北京海能公司; GC-MS-QP2010 型气相色谱-质谱(Gas Chromatography Mass Spectrometry, GC-MS)联用仪,日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 手抓羊肉制备

羊肉4℃解冻后把5只羊的肋排、脊骨、后腿同一部位放在一起炖煮,按料液比1:2加入纯净水,3%(质量分数)的食盐,煮制1 h 沥干水分,室温后装入自封袋。

1.2.2 营养成分测定

水分:根据 GB 5009.3-2016 方法测定,将样品编号后,干燥至恒重,然后称量烘干后的样品质量。蛋白质:根据 GB 5009.5-2010 方法,用凯氏定氮仪测定。脂肪:根据 GB/T 5009.6-2003 方法,用索氏抽提法测定。

1.2.3 理化品质测定

1.2.3.1 色泽测定

测定前用白板校准色差计,每个处理随机选6个样品进行测定,记录 L^* 值(亮度值)、 a^* 值(黄度值)、 b^* (红度值)。

1.2.3.2 pH 测定

参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》,使用便携式 pH 计,实验采用两点标定测定样品 pH 值。

1.2.3.3 蒸煮损失测定

按照手抓羊肉蒸煮过程在煮前称重 500 g,蒸煮后,用吸水纸吸干羊肉外表面水分后称重。蒸煮损失率的

计算如公式（1）所示：

$$W=\frac{W_1-W_2}{W_1}\times 100\%$$

(1)

式中：

W ——蒸煮损失，%（质量分数）；

W_1 ——蒸煮前肉块质量，g；

W_2 ——蒸煮后肉块质量，g。

1.2.3.4 质构和剪切力的测定

参考刘颜等^[9]方法进剪切力测定：手抓羊肉剔骨，除去样品表面的筋膜和脂肪，沿肌纤维方向切成2 cm×0.5 cm×0.5 cm的长条状，用嫩度仪测定羊肉的剪切力值，用N表示。质构特性测定：将测定肉样切成1.5 cm×1 cm×1 cm的方块，测定其硬度、弹性、凝聚性、胶黏性和咀嚼性等质构参数。测定条件：选择P36圆柱形探头，测前速度为2 mm·s⁻¹，测试速度为1 mm·s⁻¹，测后速度为2 mm·s⁻¹，测定间隔时间为5 s，压缩比为30%，触发力为20 g。用质构仪自带的TPA-macro软件对测定结果进行分析，每个样品测量6次。

1.2.4 风味测定

1.2.4.1 电子鼻分析

取2 g肉样，切碎，装20 mL顶空瓶中，所有样品室温平衡30 min后进行电子鼻分析。传感器平衡180 s，检测60 s，48~52 s为信号采集时间。每组实验重复3次。

表 1 电子鼻传感器性能表

Table 1 Performance table of electronic nose sensors

传感器	响应物质
W1C	对芳烃化合物敏感
W5S	对氮氧化合物敏感
W3C	对氨、芳香分子灵敏
W6S	对氢化合物灵敏
W5C	对锻链烷烃芳香分子灵敏
W1S	对烷类化合物灵敏
W1W	对硫化合物灵敏
W2S	对醇、醛、酮灵敏
W2W	对有机硫化合物灵敏
W3S	对长链烷烃灵敏

1.2.4.2 SPME-GC-MS 分析

SPME 条件：50 μm PDMS/DVB 萃取头置于250 ℃老化30 min。称取2.0 g肉样置于20 mL顶空瓶中，加入1 μL的邻二氯苯（0.02 μg·μL⁻¹）内标，密封后置于55 ℃恒温磁力搅拌器中解析20 min，后插入顶空瓶橡胶垫内吸附40 min。待吸附结束后，将萃取头插入进样口，230 ℃解析5 min。

GC 条件：柱子型号：DB-WAX 色谱柱（30 m×0.18 mm×0.18 μm）；流量：1.0 mL·min⁻¹；进样口温度：240 ℃；解析时间：5 min；升温程序：40 ℃保持3 min，以5 ℃·min⁻¹升温至120 ℃，维持2 min，以10 ℃·min⁻¹升至230 ℃，维持10 min。

MS 条件：传输线温度：250 ℃；离子源温度：200 ℃；电子能量：70 eV；扫描范围（ m/z ）：35~500。

定量分析：以邻二氯苯为内标计算各挥发性化合物含量，计算公式如式（2）所示：

$$C_x=\frac{A_x\times C_0\times v}{A_0\times m}\times 1000$$

(2)

式中：

C_x ——待测物含量，μg·kg⁻¹；

A_x ——待测物色谱峰面积；

A_0 ——内标物色谱峰面积；

C_0 ——内标物质量浓度，μg·μL⁻¹；

V ——内标物体积，μL⁻¹；

1 000——换算系数。

定性分析：将质谱数据与美国国家标准与技术研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）数据库相匹配，仅保留匹配度大于80%的成分，对其成分进行定性分析，计算每种待测化合物的保留指数^[10]，计算公式如式（3）所示：

$$I=100\times\frac{t_x-t_n}{t_{n+1}-t_n}\times 100n$$

(3)

式中：

I ——保留指数 RI；

n ——碳数；

t_x ——化合物 x；

t_n ——碳数为 n；

t_{n+1} ——n+1 的正构烷烃的保留时间。

1.2.4.3 气味活性值（Odor Activity Value, OAV）分析

OAV 为风味物质浓度与其阈值的比值，OAV>1 说明该物质对样品的风味感知具有重要作用^[11]。计算公式如式。

$$O=\frac{C}{T}$$

(4)

式中：

O ——气味活性值 OAV；

C ——化合物的含量，μg·kg⁻¹；

T ——化合物的水体中的呈香阈值，μg·kg⁻¹。

1.2.4.4 气相色谱-离子迁移谱（Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry, GC-IMS）分析

精确称取2 g样品于20 mL顶空进样瓶中，密封，自动进样器参数设置为：顶空温度孵化：60 ℃；孵化时间：15 min；孵化速度：500 转；注射体积：100 L；

注射针温度：65 ℃，进样体积 500 μL，每个样品设 3 个重复。

气相色谱参数为：色谱柱 MXT-5（15 mL，0.53 mm ID，1 μm FTK），色谱柱温度：60 ℃，载气：N₂（纯度 > 99.99%），运行时间：30 min，载气起始流量 2 mL·min⁻¹，保持 2 min，2~5 min 流量为 10 mL·min⁻¹，5~15 min 流量为 15 mL·min⁻¹，15~20 min 流量为 50 mL·min⁻¹，20~25 min 流量为 100 mL·min⁻¹。

1.2.5 感官评价

参考董阳阳等^[12]感官评价方法并稍作修改，由 14 名经过训练的人员组成评价小组，根据表 2，对不同部位手抓羊肉进行感官评价打分。感官评分求得平均值，即为该组样品的最终感官评分。

表 2 感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard		
感官指标	标准	评分
色泽 (20%)	肉色为褐色或棕色，色泽均匀	20~16
	肉色为褐色，色泽基本均匀	15~11
	肉色过深或过浅，色泽比较不均匀	10~6
	肉色呈现淡褐色，浅黄，色泽不均匀	5~0
滋味、风味 (20%)	有羊肉的滋味与风味，香气浓郁，咸度适中，无羊膻味	20~16
	有羊肉的滋味与风味，但气味不是很浓郁，咸度较合适膻味适中	15~11
	羊肉的滋味与风味不是很明显，咸度不均匀，羊膻味较明显	10~6
	羊肉的滋味与风味不明显，咸度偏淡或偏咸，味道不均匀，羊膻味明显	0~5
口感 (20%)	肉质鲜嫩，质地柔软，咀嚼性好	20~16
	肉质散烂，质地较柴，有一定的咀嚼性	15~11
	肉质稍老，质地柴，咀嚼性较差	10~6
	肉质过硬，质地老韧，咀嚼困难	0~5
组织状态 (20%)	韧性和肉质良好，肌肉纤维清晰	20~16
	韧性和肉质较好，肌肉纤维较清晰	15~11
	韧性和肉质较差，肌肉纤维不清晰	10~6
	肉质组织松散，状态较差	0~5
总体接受度 (20%)	整体非常喜欢	20~16
	良好	15~11
	一般	10~6
	不可接受	0~5

1.3 数据处理

使用 IBM SPSS Statistics 软件对数据进行单因素分析，Duncan’s 法用于判定数据间的显著性差异 ($P<0.05$)，数据以平均值 ± 标准差表示，每个实验

指标平行测定 3 次。使用 Origin 2022 软件作图，并进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同部位羊肉的基本营养成分含量变化

不同部位察哈尔原料肉中的蛋白、水分和脂肪含量如表 3 所示（文中所涉及的含量均为质量分数），三个部位原料肉中粗蛋白含量无显著差异 ($P>0.05$)，蛋白含量均相对较高，达到 20% 以上，可能因为本研究采用的是当地手抓羊肉常采用的成年羊，成年羊通常在生长发育阶段积累了较多的肌肉蛋白质，组织更加完善^[13]。三个部位羊肉中，后腿的水分含量相对高于肋排和脊骨，但差异不显著 ($P>0.05$)。不同部位羊肉中的肌内脂肪含量存在差异，其中肋排和脊骨脂肪含量无显著差异，但显著高于后腿的肌内脂肪含量 ($P<0.05$)。俞彭欣^[14]的研究结果表明，不同部位羊肉中的肌内脂肪含量可能与肌肉运动量有关，运动量大的部位脂肪含量少。后腿的运动量大可能造成蛋白含量高，而肌内脂肪含量相对较少的。肌内脂肪含量也有报道^[15]与水分含量相关。

表 3 不同部位原料肉的营养成分 (%)

Table 3 The nutritional content of different parts of the raw meat

	粗蛋白含量	水分含量	肌内脂肪含量
肋排	23.04 ± 0.82 ^a	67.76 ± 2.14 ^a	9.06 ± 1.78 ^a
后腿	23.73 ± 0.23 ^a	70.61 ± 1.44 ^a	6.06 ± 1.50 ^b
脊骨	22.55 ± 0.49 ^a	67.36 ± 1.90 ^a	10.17 ± 0.51 ^a

注：同行中不同小写字母表示原料肉差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 不同部位手抓羊肉的色泽和pH值差异分析

色泽是消费者对于食品的第一直觉，直接决定着消费者的购买欲望，良好的色泽可以刺激食欲^[16]。加热过程中肉的颜色从感官上观察一般是由鲜红色变为发灰的淡粉色，最后变为棕褐色。本研究中不同部位原料肉和手抓羊肉的色泽如表 4 所示，三个部位原料肉经煮制后亮度值 (L^*) 和黄度值 (b^*) 提高，红度值 (a^*) 下降。不同部位原料肉亮度值、红度值、黄度值存在显著性差异 ($P<0.05$)，其中肋排亮度值最高，其次是后腿和脊骨。窦玉琴等^[17]研究结果表明亮度值的差异可能是由于不同部位肉中肌原纤维的排列顺序和水分含量的不同，从而使其对光的散射性质发生了变化。肋排样品含水量低，但蒸煮损失大，说明其保水性差，造成更多游离水附着在肉的表面，增强了光的反射。后腿原料肉红度值最高，肋排的红度值最低，红度值的差异可能是由于腿部运动活跃，含有

更多的肌红蛋白而颜色较深，而不常用的肌肉如肋排则颜色较浅^[18]，经过煮制后的手抓羊肉红度值下降^[19]，这可能是由于煮制过程中血红蛋白流失，肌红蛋白在氧气的作用下转化为褐色的高铁肌红蛋白^[20]。但不同部位手抓羊肉的红度值大小排序与原料肉存在不同，脊骨手抓羊肉的红度值相比肋排和后腿最大，可能是由于脊骨肉保水性好，肉中的肌红蛋白不易流出所造成。

原料肉中肋排的黄度值最高，后腿黄度值最低，差异显著 ($P<0.05$)，但经过煮制变成手抓羊肉后三部位的黄度值无显著区别。可能是因不同部位的脂肪含量不同，脂肪层较厚的部位通常肉质呈现较淡的颜色，因为脂肪掩盖了部分肌肉的颜色。三种原料肉种肋排的 pH 值相对较高，脊骨 pH 值较低可能是由于不同部位肉中肌肉本身糖原含量较低，乳酸产生低^[21]。后腿肉的 pH 值最小，这可能因为羊腿部运动量最大，从而产生较多的糖原分解产生乳酸，陈素勤^[22]研究结果表明，由于羊腿部运动量大，在宰后羊腿有较多的糖原分解产生入乳酸，因此羊腿 pH 值最小。原料肉经煮制加工成手抓羊肉后的 pH 值升高^[23]，可能与羊肉不同蛋白质受热变性引起的蛋白表面酸碱基团动态变化有关。

2.3 不同部位手抓羊肉的加工品质特性差异分析

蒸煮损失是评价肉制品保水性的重要指标，不

同部位羊肉的蒸煮损失如表 5 所示，脊骨手抓羊肉的蒸煮损失最小，显著低于肋排和后腿手抓羊肉 ($P<0.05$)，这可能手抓羊肉的 pH 相关，脊骨手抓羊肉的 pH 值最高，这有利于羊肉中水分的保持^[23]，从而使其蒸煮损失较小。Bi 等^[24]研究结果表明，蒸煮损失与鲜羊肉的 pH 值变化有关，宰后早期乳酸产生降低生肉的 pH 值降低肌肉持水能力，导致烹饪损失增加，后肉整体含水量降低烹饪损失减少。肋排和后腿手抓羊肉的蒸煮损失之间无显著差异，两者之间的 pH 值也无差异 ($P>0.05$)，这也支持蒸煮损失 pH 值影响的推测。手抓羊肉中水分损失的不同也可能与肌纤维的收缩有关，肌纤维受热后会发生横向和垂直收缩，导致水分受挤压流失^[25]，本研究中脊骨手抓羊肉由于带骨炖制，从物理层面阻碍了肌纤维收缩。

肉制品肉质构特性一般从硬度、恢复力、凝聚力、弹性、咀嚼性等方面评价。本研究中不同部位原料肉和手抓羊肉的质构如表 5 所示，脊骨的硬度显著高于其他部位 ($P<0.05$)，而三个部位手抓羊肉的恢复力、凝聚力、弹性、咀嚼性无显著性差异。剪切力是反映肉类嫩度的重要指标，剪切力值越小，表示肉的嫩度越好^[26]。后腿手抓羊肉的剪切力较大，显著高于肋排和脊骨部位，后两者之间的剪切力无显著差异，这可能与后腿中的脂肪含量较少有关，瘦肉含量相对较高，同时后腿肉中可能受运动量的影响而含有更多的筋膜，肌纤维较粗，嫩度较差。

表 4 不同部位原料肉、手抓羊肉的理化指标

Table 4 Color of raw meat from different parts and hand-grabbed mutton						
	原料肉			手抓羊肉		
	肋排	后腿	脊骨	肋排	后腿	脊骨
L^*	36.6 ± 1.27^A	28.74 ± 0.70^B	26.66 ± 1.30^C	43.13 ± 0.90^a	41.45 ± 1.40^{ab}	40.54 ± 1.77^b
a^*	9.88 ± 1.77^B	11.8 ± 0.80^A	10.88 ± 0.90^{AB}	4.14 ± 0.79^a	3.48 ± 0.90^a	4.68 ± 0.69^a
b^*	8.03 ± 1.21^A	6.88 ± 0.45^{AB}	6.12 ± 1.25^B	10.5 ± 0.71^a	10.52 ± 0.12^a	10.75 ± 0.36^a
pH 值	5.91 ± 0.06^A	5.52 ± 0.04^B	5.54 ± 0.03^B	6.18 ± 0.12^a	6.15 ± 0.06^a	6.09 ± 0.08^b

注：同行中不同小写字母表示手抓羊肉差异显著 ($P<0.05$)，大写字母表示原料肉差异显著 ($P<0.05$)。

表 5 不同部位手抓羊肉的加工品质特性

Table 5 Texture characteristics of hand-grabbed mutton from different parts							
	硬度/g	恢复力	凝聚力	弹性	咀嚼性/g	剪切力/N	蒸煮损失/%
肋排	670.19 ± 131.34^b	28.16 ± 6.24^a	0.66 ± 0.04^a	74.02 ± 10.19^a	329.85 ± 101.70^a	35.26 ± 2.27^b	36.2 ± 0.54^a
后腿	770.7 ± 97.78^{ab}	19.68 ± 1.99^a	0.52 ± 0.06^b	60.89 ± 4.94^a	248.66 ± 59.70^a	47.53 ± 5.49^a	36.15 ± 0.47^a
脊骨	$1\ 170.64 \pm 306.56^a$	23.51 ± 3.77^a	$0.59 \pm 0.06a^b$	70.42 ± 6.75^a	509.71 ± 22.70^a	35.88 ± 1.33^b	31.07 ± 0.68^b

注：同行中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 不同部位手抓羊肉的电子鼻响应差异分析

电子鼻是模拟人类嗅觉系统，通过传感器阵列对挥发性化合物进行快速检测，实现对样品整体气味轮廓表征^[27]。目前，电子鼻广泛应用于不同加工方式、品种、部位等肉制品的风味差异分析^[28]。如图 1 所示，三个部位手抓羊肉均在 W1W、W5S 的传感器上响应值较高，且存在较大差异，其中后腿在这两个传感器上响应值最大，其他传感器基本重合。而对传感器 W3S、W1C、W3C、W6S、W5S 信号强度较弱，说明三个部位手抓羊肉中中氨类、烯烃类、烷烃类物质含量相对较低。进一步对不同部位手抓羊肉的香气进行主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)，第一成分贡献率 76.0%。第二成分贡献率 18.2%，累计贡献率 94.2（大于 90.0%），能较好的反应手抓羊肉的整体信息。三个部位手抓羊肉在 PCA 图中区域分散，说明电子鼻能较好区分三个部位的香气。

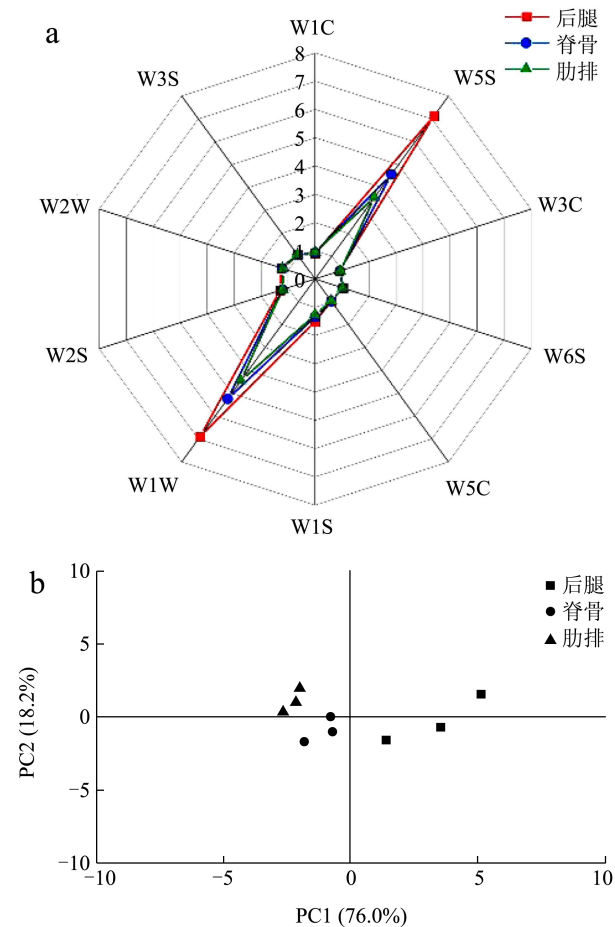


图 1 电子鼻测定不同部位手抓羊肉的雷达图和 PCA 图
Fig.1 Radar diagram and PCA plots of hand-grabbed mutton from different parts analyzed by electronic nose

2.5 不同部位手抓羊肉的GC-MS差异分析

采用顶空固相微萃取法提取不同部位手抓羊肉的

挥发性化合物，通过 GC-MS 鉴定分析，得到的离子流色谱图见图 2。

三个部位手抓羊肉的 GC-MS 共检测到 65 种挥发性化合物（表 6），主要包括醛类、醇类、酯类、酮类和其他类化合物。脊骨、后腿、肋排手抓羊肉中分别含有挥发性化合物 33、38、36 种，挥发性化合物的种类和含量具有明显差异。

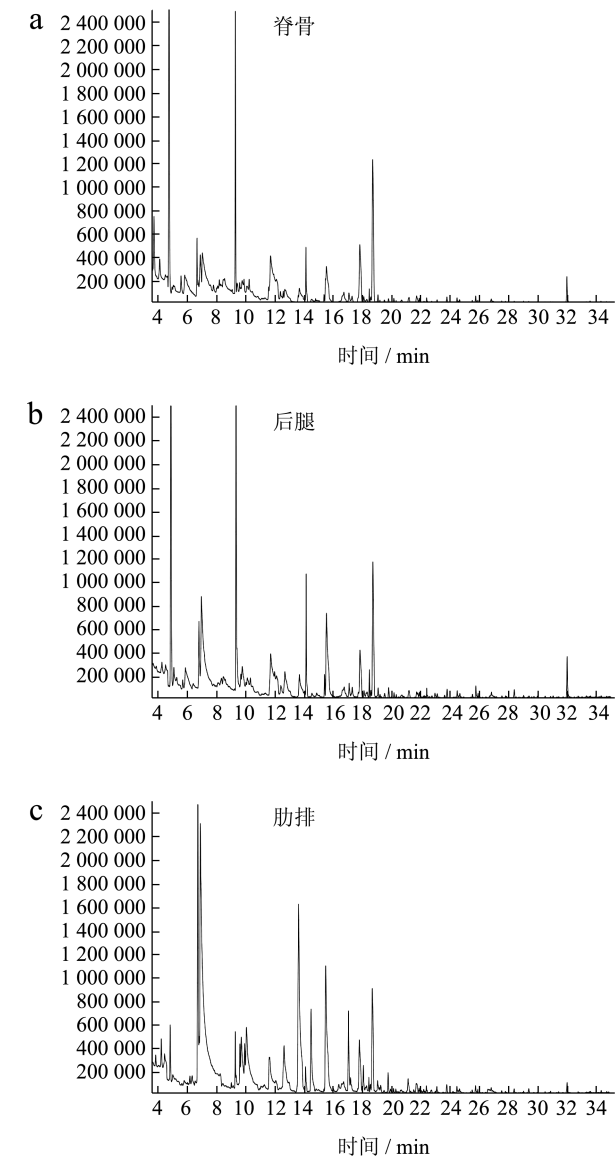


图 2 不同部位手抓羊肉 GC-MS 离子流色谱图
Fig.2 GC-MS ion chromatograms of hand-grabbed mutton from different parts

在羊肉中，醛类是关键的风味化合物，其次是醇类和酮类。醛类物质一般认为是肉类风味的主要香气物质主要来自肉类脂肪氧化、降解和美拉德反应^[29]。从表 6 可知，本研究中三种部位手抓羊肉检测的醛类物质含量最丰富，共有 12 种。己醛、壬醛、戊醛、庚醛、辛醛为羊肉不同部位所共有的化合物，戊醛、己醛、

庚醛和壬醛这些醛类通常是肉类制品脂质衍生的挥发物,被描述为脂肪味、甜味^[30]。具有柑橘香的癸醛和3-乙基苯甲醛、十六醛为肋排独有的挥发性化合物。本研究中异戊醛存在于后腿部位,亮氨酸的Strecker降解会产生异戊醛,即麦芽和可可香气^[31],极大地丰富了羊肉在烹饪过程中产生的独特风味;苯甲醛,具有苦杏仁、坚果味^[32],主要是由于支链氨基的Strecker降解造成的。从不同部位来看,肋排中所含有的醛类物质会比脊骨和后腿丰富。这些独有的挥发性化合物多与脂肪氧化密切相关^[33]。柏霜等^[1]研究了不同高温烹饪方式加工过程中滩羊肉风味化合物的差,研究结果显示己醛明显提高了羊肉整体的香气,同时掩盖了其他化合物的感官属性。

醇类物质具有令人愉悦的气味,是主要来自脂肪的氧化降解^[33]。本试验共检测出12种化合物,脊骨中有7种、后腿中有6种、肋排中有9种,从试验结果来看,肋排中的醇类挥发性化合物种类多于脊骨跟后腿,这说明因不同部位羊肉中醇类化合物的不同,导致风味上的差异。己醇、芳樟醇、苯乙醇、1,4-丁二醇为三种不同部位共有的化合物,己醇具有果香和脂肪气味^[34],在肋排中含量显著高于其他两个部位;芳樟醇具有柑橘、柠檬香;桉叶油醇、异辛醇、仅存在于后腿部位,桉叶油醇具有樟脑、草药香,异辛醇具有油脂味和玫瑰味^[33]。庚醇仅存在于肋排部位,具有柠檬香味和草药味,肋排检测到的1-辛烯-3-醇含量最多具有坚果、蘑菇的香气,可能是来自脂肪氧化,能够增加肉的香气,是一种重要的风味物质^[34]。由此得出,三个不同部位中肋排的醇类挥发性风味优于后腿跟脊骨。

酮类物质对肉类风味形成有重要的作用,本试验总共检测出9种化合物,脊骨中有4种,后腿中有6种,肋排中有2种。后腿中酮类含量最高,说明所含酮类物质更为丰富,酮类的来源多为不饱和脂肪酸的降解。三个部位中都检出的2,3-辛二酮,但是肋排中含量最多,这主要是由于肌肉类型对脂肪氧化产物总量有显著影响;后腿部位中有苯乙酮、2-十一酮,具有油脂气味、橙子味;甲基庚烯酮、甲基壬基甲酮是合成芳樟醇的中间体,具有水果香气也少量存在于后腿部位中。3-羟基-2-丁酮具有奶香气,只有在脊骨跟后腿有检出且差异不明显。

酯主要来源于脂质的氧化和降解,赋予令人愉悦的果香和花香^[35],本次试验共检测出6种化合物,脊骨中有4种,后腿中有2种,肋排中未检测出酯类物质。

脊骨中有4-羟基丁酸内酯和甲酸辛酯,具有芳香气味和果香;脊骨和后腿部位中有癸酸乙酯,具有果香芳香。

烷烃类物质主要可能来源于脂肪酸中烷氧自由基的断裂而产生,阈值相对较高,对羊肉风味形成没有直接作用,不同部位烷烃含量的差异可能是羊肉原料肉脂肪酸的差异^[36]。检测出5种烯烃类物质,不同部位之间没有明显差异,右旋萜二烯具有清新的柑橘味存在于三种部位;2,4-二甲基苯乙烯具有特殊的含羞草气味少量存在于脊骨部位中。呋喃类物质是美拉德反应的产物,茴香脑是唯一鉴定出来的醚类物质。肋排中检测到少量己酸,这可能是由于长时间煮制导致的脂质氧化降解更多而产生。成年羊肉中可能包含了更多的肌肉脂肪,这些脂肪对肉质的风味和口感有一定的影响。脂肪含量及其分布可能使成年羊肉在风味上具有独特的特点^[37]。

2.6 不同部位手抓羊肉的OAV差异分析

OAV是一种评估气味强度与感知的指标,是挥发性风味物质的浓度与其阈值的比值,OAV值的大小可以帮助判断某一气味化合物对整体气味的贡献。如果OAV大于1,说明该化合物的浓度超过其检测阈值,对气味有显著影响。OAV等于1时,表示该气味化合物的浓度刚好到达可以被感知的水平,通常将OAV≥1的组分视为关键风味物质^[38]。由表7可知,三种不同部位羊肉中共检出9种关键风味物质(OAV≥1),分别是己醛、庚醛、辛醛、壬醛、癸醛、反-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、辛醇、2,3-辛二酮。其中己醛、辛醛、壬醛、2,3-辛二酮是所有样品共有的风味物质。癸醛、反-2-辛烯醛和辛醇仅存在于肋排中,肋排中2,3-辛二酮明显高于其他两个部位。2,3-辛二酮是肉中常见的甲基酮,甲基酮与脂质氧化程度有关,可能来源于亚油酸的氧化分解^[39],能够增强羊肉风味,尤其是在加工过程中,特有的能增加肉类香气。

2.7 不同部位手抓羊肉GC-IMS结果分析

为了解析三种不同部位制成的手抓羊肉之间挥发性风味物质的差异,采用GC-IMS对手抓羊肉中挥发性风味物质进行了鉴定。图3中横纵坐标为离子迁移时间和保留时间,色垂直线表示反应离子峰反应离子峰的位置,亮点红色越深含量越高、白色代表对应含量低^[40]。三种羊肉不同部位挥发性化合物含量及浓度存在一定差异。

表 6 不同部位手抓羊肉的挥发性化合物差异

Table 6 Differences in volatile compounds in different parts of hand-grabbed mutton

序号	分类	化合物种类	保留时间/min	保留指数	阈值 ^[11,32] /(μg·kg ⁻¹)	气味特征	脊骨/(μg·kg ⁻¹)	后腿/(μg·kg ⁻¹)	肋排/(μg·kg ⁻¹)
1	醛类物质	己醛	7.5	1 106	4.5	青草味、脂肪味	25.93 ± 1.38 ^c	47.02 ± 4.67 ^b	89.59 ± 0.76 ^a
2		戊醛	4.2	—	12		5.61 ± 0.77 ^b	3.705 ± 1.33 ^b	10.66 ± 0.22 ^a
3		异戊醛	4.5	—	—		—	4.428 ± 0.82 ^a	—
4		庚醛	9.8	1 187	2.8	脂肪味	2.79 ± 1.13 ^b	6.753 ± 0.71 ^b	16.64 ± 1.28 ^a
5		辛醛	12.6	1 286	0.7	肉香、坚果香	1.69 ± 1.31 ^b	5.109 ± 4.42 ^b	16.39 ± 0.86 ^a
6		壬醛	15.5	1 392	1	脂肪味、花香、柑橘香	7.08 ± 0.78 ^c	13.45 ± 0.84 ^b	27.82 ± 0.15 ^a
7		癸醛	16.2	1 419	0.1	柑橘香、脂肪香	—	—	0.31 ± 0.01 ^a
8		苯甲醛	18.7	1 516	350	坚果香、杏仁香	10.16 ± 1.94 ^a	14.38 ± 0.36 ^a	—
9		3-乙基苯甲醛	23.1	1 701	—		—	—	0.18 ± 0.00 ^a
10		十六醛	32.0	2 098	—		—	—	0.83 ± 0.20 ^a
11		4-乙基苯甲醛	23.1	1 701	—		—	0.232 ± 0.12 ^a	—
12		十四醛	31.9	2 098	—		—	1.930 ± 1.97 ^a	—
13		反-2-辛烯醛	16.4	1 426	0.2			1.359 ± 0.78 ^a	
14	醇类物质	桉叶油醇	10.3	1 204	—		0.84 ± 0.72 ^a	—	—
15		戊醇	11.7	1 254	470	香醋味	—	—	7.46 ± 1.68 ^a
16		己醇	14.5	1 355	250		0.40 ± 0.17 ^b	0.355 ± 0.13 ^b	12.88 ± 0.38 ^a
17		1-辛烯-3 醇	17.1	1 457	1	蘑菇香、蔬菜香	0.43 ± 0.35 ^b	1.280 ± 0.39 ^b	7.64 ± 1.68 ^a
18		异辛醇	18.1	1 492	—		0.34 ± 0.16 ^a	—	—
19		芳樟醇	19.5	1 549	—		0.25 ± 0.05 ^a	0.354 ± 0.16 ^a	0.19 ± 0.03 ^a
20		庚醇	17.2	1 457	330		—	—	2.12 ± 1.25 ^a
21		2-乙基己醇	18.1	1 492	300		—	0.536 ± 0.24 ^a	1.98 ± 1.23 ^a
22		辛醇	19.8	1 561	110		—	—	1.72 ± 0.13 ^a
23		苯乙醇	27.5	1 905	—	花香	0.08 ± 0.07 ^a	0.146 ± 0.06 ^a	0.13 ± 0.00 ^a
24		1,4-丁二醇	27.8	1 920	—		0.09 ± 0.00 ^a	0.048 ± 0.02 ^a	0.11 ± 0.11 ^a
25	酯类物质	乙二醇二乙酸酯		1 461	—		0.42 ± 0.11 ^a	—	—
26		癸酸甲酯	20.7	1 598	—		0.23 ± 0.03 ^a	—	—
27		4-羟基丁酸内酯	21.2	1 620	—		0.95 ± 0.02 ^a	—	—
28		癸酸乙酯	21.7	1 641	—		0.53 ± 0.21 ^a	0.540 ± 0.22 ^a	—
29		甲酸辛酯	19.8	1 561	—		—	0.726 ± 0.32 ^a	—
30		乙酸松油酯	22.9	1 693	—		—	0.208 ± 0.00 ^a	—
31	酮类物质	3-羟基-2-丁酮	12.3	1 275	800	奶香	1.16 ± 0.63 ^a	1.675 ± 1.07 ^a	—
32		2,3-辛二酮	13.7	1 326	0.28	豆香味	2.19 ± 0.23 ^b	5.575 ± 1.52 ^b	45.09 ± 5.37 ^a
33		甲基庚烯酮	14.0	1 337	50		0.27 ± 0.17 ^a	0.561 ± 0.20 ^a	—
34		乙酰氧基-2-丙酮	17.3	1 461	—		0.72 ± 0.77 ^a	—	—
35		甲基环戊烯醇酮	18.2	1 496	—		—	0.211 ± 0.17 ^a	—
36		2-十一酮	20.7	1 598	7		—	0.222 ± 0.00 ^a	—
37		甲基壬基甲酮	20.7	1 598	—		—	0.135 ± 0.03 ^a	—
38		苯乙酮	21.7	1 641	—		—	0.368 ± 0.19 ^a	—
39		3-己酮	6.6	—	—		—	—	1.38 ± 2.42 ^a

续表6

序号	分类	化合物种类	保留时间/min	保留指数	阈值 ^[11,32] /(μg·kg ⁻¹)	气味特征	脊骨/(μg·kg ⁻¹)	后腿/(μg·kg ⁻¹)	肋排/(μg·kg ⁻¹)
40	烯烃类物质	右旋茚二烯	10.0	1 194	—	香料味	1.11 ± 0.91 ^b	3.201 ± 0.45 ^b	18.80 ± 1.58 ^a
41		苯乙烯	11.7	1 254	730		9.50 ± 0.23 ^b	14.48 ± 2.14 ^b	5.37 ± 0.95 ^a
42		2,4-二甲基苯乙烯	16.7	1 438	—		1.68 ± 0.44 ^a	—	—
43		3-甲基-1-环己烯	11.3	1 701	—		—	0.298 ± 0.17 ^a	—
44		环辛四烯	12.1	1 268	—		—	—	2.85 ± 1.05 ^a
45	烷烃类物质	异十二烷	3.8	—	—		2.60 ± 0.66 ^a	—	—
46		十五烷	18.3	1 500	—		0.35 ± 0.21 ^a	0.636 ± 0.19 ^b	0.39 ± 0.28 ^a
47		十八烷	19.9	1 566	—		—	—	0.51 ± 0.08
48		十六烷	35.8	2 086	—		—	2.063 ± 1.16 ^a	—
49	其他类物质	甲苯	5.7	—	24	涂料味	8.69 ± 0.56 ^a	5.375 ± 1.84 ^a	1.13 ± 0.22 ^b
50		乙基苯	8.1	1 127	—	花香、蔬菜香	0.58 ± 0.29 ^a	—	—
51		间二甲苯	8.4	1 137	—		5.19 ± 1.91 ^a	3.519 ± 0.31 ^a	0.82 ± 0.00 ^b
52		对二甲苯	8.5	1 141	—		1.12 ± 0.60 ^a	—	—
53		萘	23.8	1 733	—		0.30 ± 0.10 ^a	0.629 ± 0.26 ^a	—
54		茴香脑	25.7	1 820	—		0.16 ± 0.09 ^a	0.610 ± 0.40 ^a	0.71 ± 0.04 ^a
55		甲氧基苯基胍	24.5	1 762	—		0.27 ± 0.13 ^a	—	—
56		2-正戊基呋喃	11.1	1 233	6		—	0.103 ± 0.01 ^a	0.850 ± 0.48 ^a
57		N-乙基苯胺	23.6	1 724	—		—	0.130 ± 0.09 ^a	—
58		N,N-二丁基甲酰胺	24.6	1 769	—		—	0.161 ± 0.15 ^a	0.27 ± 0.16 ^a
59		邻异丙基甲苯	12.5	1 282	—		—	—	0.45 ± 0.15 ^a
60		N,N-二甲基硫代乙酰胺	20.1	1 574	—		—	—	0.30 ± 0.02 ^a
61		4-甲基噻唑	21.5	1 632	—		—	—	0.18 ± 0.04 ^a
62		2-乙酰基噻唑	21.7	1 641	—		—	—	1.88 ± 0.08 ^a
63		己酸	26.7	1 867	3 000	膻味	—	—	0.44 ± 0.11 ^a
64		苯并噻唑	28.4	1 949	—	—	—	0.34 ± 0.06 ^a	
65		苯酚	29.4	1 999	—	—	—	0.41 ± 0.02 ^a	

注：同行中不同小写字母表示差异显著（*P*＜0.05）。

表 7 不同部位手抓羊肉挥发性风味物质OAV值

Table 7 OAV value of volatile flavor compounds in different parts of hand-grabbed mutton

序号	物质	阈值/(μg·kg ⁻¹)	气味特征	脊骨	后腿	肋排
1	己醛	4.5	青草味、脂肪味	5.76	10.45	13.27
2	庚醛	2.8	脂肪味	0.10	2.42	5.94
3	辛醛	0.7	肉香、坚果香	2.41	7.30	23.41
4	壬醛	1	脂肪味、花香、柑橘香	7.08	13.46	27.82
5	癸醛	0.1	柑橘香、脂肪香	—	—	3.15
6	反-2-辛烯醛	0.2	—	—	—	6.80
7	1-辛烯-3-醇	1	蘑菇香、蔬菜香	0.68	1.28	7.64
8	辛醇	110	—	—	—	2.46
9	2,3-辛二酮	0.28	豆香味	7.82	19.91	161.03

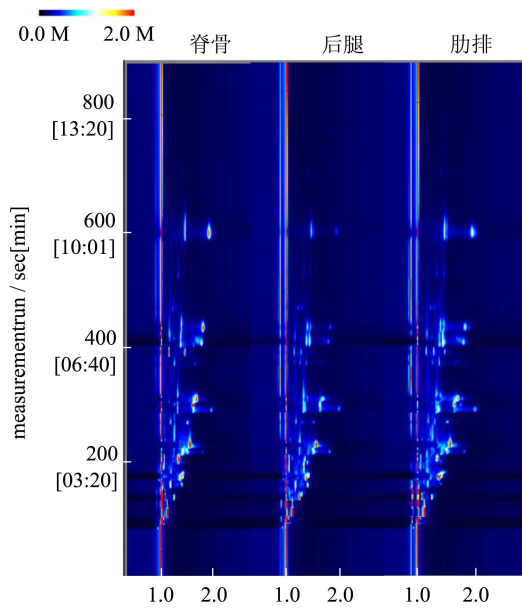


图 3 不同部位手抓羊肉 GC-IMS 二维图谱

Fig.3 GC-IMS two-dimensional map of hand-grasped mutton in different parts

图 4 中横向表明三种不同部位制成的三个平行手抓羊肉，分别是 J（脊骨）、L（肋排）和 H（后腿），纵向表示不同部位手抓羊肉部位样品之间同一种挥发性化合物的差异，颜色的深浅代表挥发性化合物含量

的高低，颜色越深，则含量越高^[40]。从图 4 纵向对比差异可看出，羊后腿样品和羊肋排样品亮点数较多，响应强度较大，脊骨响应亮点最少。不同部位手抓羊肉挥发性风味物质存在较大差异，可能是脂肪含量、蛋白含量导致^[41]。

A 区域中 J 组（脊骨组）的 2-己烯醛、正己醛、2-己烯醛、1-己醇、庚醛、(E)-2-庚二醛、3-辛醇、正辛烷、2,2,4,6,6-五甲基庚烷、正辛烷 (D)、壬醛含量均比其他组高，贡献大，赋予了 J 组（脊骨组）柑橘等香气。D 区域中 J 组（脊骨组）的仲辛醇、己醛、丙酸、乙酸丙酯、3-甲基-1-戊醇、3-甲硫基丙醛、1-辛烯-3-酮的颜色比其他两组较浅。H 组（后腿组）1-辛烯-3-酮贡献最大，赋予 H 组蘑菇香气。B 区域为三种不同部位手抓羊肉中挥发性风味物质的共有峰区域，有 3-羟基-2-丁酮、乙酸乙酯、二戊酮、1-丁醇、正己醛、1-戊醇、(z)-2-戊烯-1-醇、反-2-戊烯醛、乙酰丙酮，各组分在含量上有明显差异。其中 3-羟基-2-丁酮具有奶油香气、乙酸乙酯具有苹果香气和令人愉悦的花香。利用主成分分析图，可以直观分析不同部位的差异，由图 5 可知，三个部位羊肉样品均能分开，没有出现重叠，证明 GC-IMS 能较好的区分不同部位手抓羊肉的风味物质。

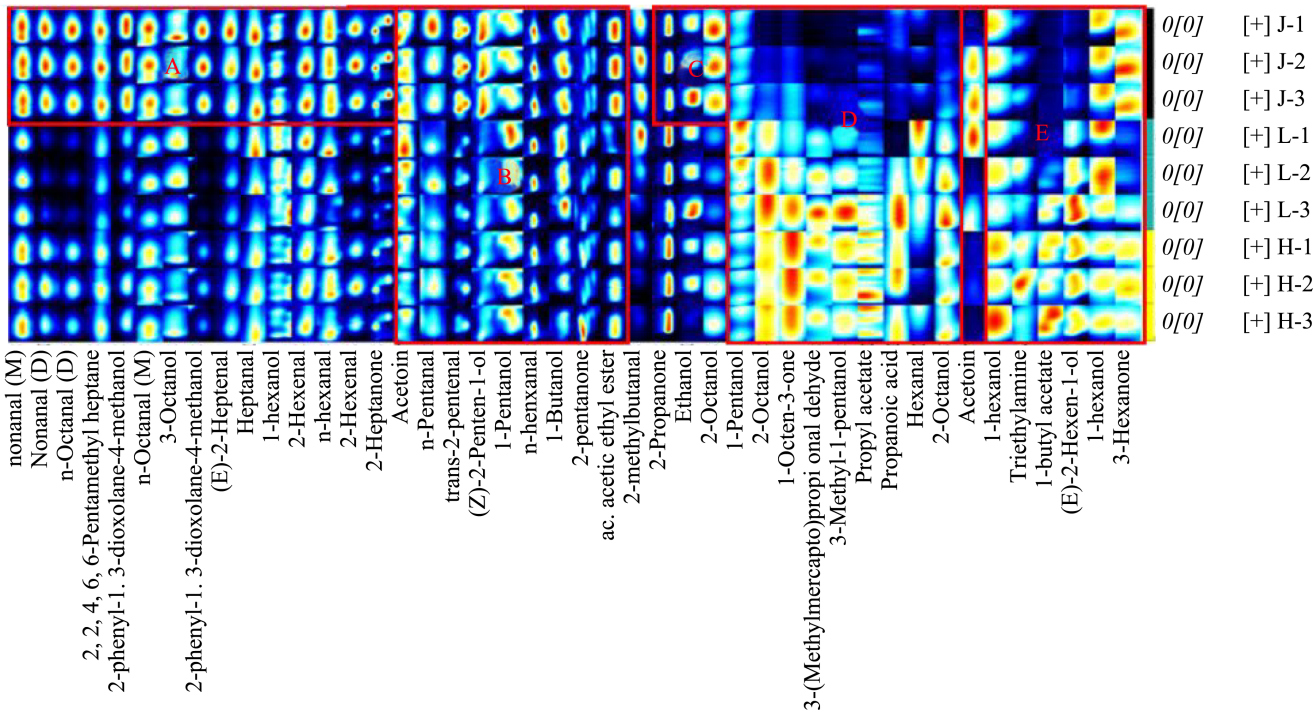


图 4 不同部位手抓羊肉挥发性物质指纹图谱

Fig.4 Fingerprints of volatile substances in different parts of hand-grasped mutton

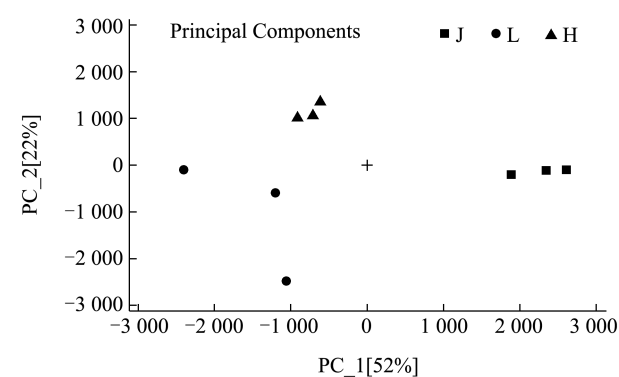


图 5 不同部位手抓羊肉的挥发性物质 PCA 图

Fig.5 PCA diagram of volatile substances in different parts of hand- held lamb

2.8 不同部位手抓羊肉感官评价分析

羊肉感官品质与许多因素有关。由图 6 不同部位手抓羊肉的感官评价可以看出，肋排在滋味、风味感官评价得分高于其他两个部位，这可能跟肋排脂肪含量有关，肋排中有壬醛、正辛醛等肉香味物质含量高。Wu 等^[42]研究表明，羊肉热加工引起的脂质氧化是肉味的关键原因，说明羊肉不同部位制成的手抓羊肉风味不同是由于脂肪氧化所产生的脂肪酸组成不同。色泽上三个部位手抓羊肉没有太大差异，肋排煮制成的手抓肉的感官评价的风味得分最高，在总体接受度上后腿的感官评价总分得分最高。

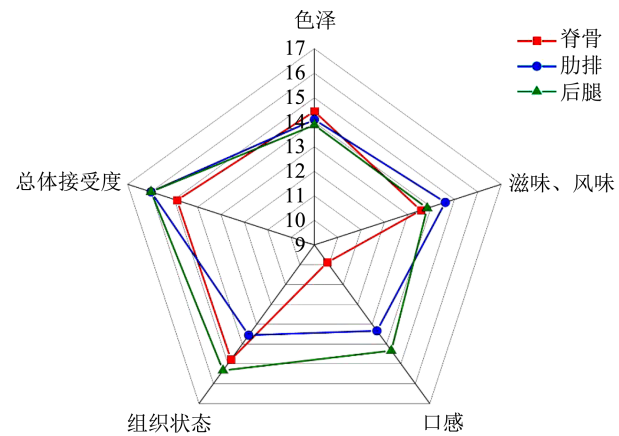


图 6 不同部位手抓羊肉感官评价雷达图

Fig.6 Radar chart of sensory evaluation of hand-grabbed mutton in different parts

3 结论

通过对察哈尔羊后腿、脊骨、肋排 3 个部位的羊肉制成的手抓羊肉品质和风味进行分析结果表明不同部位羊肉的肌内脂肪、pH 值、色差值存在差异，水分含量、蛋白含量无显著差异。其中，肋排和脊骨肌内脂肪含量无显著差异，但显著高于后腿的肌内脂肪

含量 ($P<0.05$)；三种原料肉的 pH 值均在正常范围；后腿的红度值显著高于肋排，肋排黄度值和亮度值高于其他两个部位。不同部位加工后的手抓羊肉在质构、挥发性风味物质等方面存在差异。在质构方面脊骨的硬度显著高于其他部位。后腿弹性、凝聚力和咀嚼性最低。肋排弹性、凝聚力最高。剪切力值表示肋排嫩度最好；电子鼻分析显示不同部位手抓羊肉在气味上明显不同，在气味上主要和 W1W、W5S 传感器上的响应值最大，羊后腿样品在气味变化最大。通过 GC-MS 共检测到 65 种挥发性化合物，主要包括醛类 12 种、醇类 12 种、酯类 6 种、酮类 9、烯炔类 5 种、烷烃类 4 种和其他类化合物。脊骨、后腿、肋排分别含有挥发性化合物 33、38、36 种。综上所述羊肋排嫩度最好，羊脊骨样品种酯类物质含量最高、羊后腿样品中醛类含量最高、羊肋排样品中醇类物质含量最高。三种不同部位羊肉中共检出 9 种关键风味物质，其中己醛、辛醛、壬醛、2,3-辛二酮是所有样品共有的风味物质。癸醛、反-2-辛烯醛和辛醇仅存在于肋排中；结合感官评价可知羊后腿样品在组织状态及口感上最好，肋排煮制成的手抓肉风味得分最高。结果旨在为深入探究煮制加工后不同部位手抓羊肉的品质特性及风味上提供数据支撑。

参考文献

[1] 柏霜,王永瑞,罗瑞明,等.不同高温烹饪方式加工过程中滩羊肉风味化合物的差异比较[J].食品科学,2021,42(24):166-174.

[2] 赵冰,张玉玉,王守伟,等.不同区域水对宁夏手抓羊肉滋味特性的影响[J].食品科学,2022,43(8):52-58.

[3] 方婕,孙万成,罗毅皓,等.不同贮藏方式对手抓藏羊肉风味物质的影响[J].现代食品科技,2024,40(9):316-324.

[4] 萨仁花.察哈尔羊及察哈尔羊肉的理化特性[J].当代畜禽养殖业,2021,2:37-38.

[5] SULEMAN R, WANG Z, AADIL R M, et al. Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects [J]. Meat Science, 2020, 167: 108172.

[6] 彭章蓉,孙皓然,张乔儒,等.不同年龄梅花鹿肌内脂肪沉积规律及其对风味品质影响[J].畜牧兽医学报,2024,55(8):3541-3551.

[7] SU T, FU Y, TAN J, et al. Effects of intramuscular fat on the flavor of fresh sheep and goat meat: Recent insights into pre-mortem and post-mortem factors [J]. Food Chemistry: X, 2025, 25: 102159.

[8] 巴吐尔·阿不力克木,帕提姑·阿布都克热,肉孜阿吉,等.巴什拜羊肉不同部位的品质特性分析[J].新疆农业科学,2012,49(9):1734-1741.

[9] 刘颜,周颖,贾永京,等.安徽白山羊肉品质及其低温加工特性[J].食品与发酵工业,2021,47(16):211-218.

[10] 胡子怡,王梦璇,王颖,等.不同品种鸡肉炒制后风味差异解析[J].食品工业科技,2025,46(16):311-322.

[11] 柏霜,尤丽琴,罗瑞明,等.中式炒制滩羊肉香气活性物质分析[J].

- 中国食品学报,2023,23(5):311-321.
- [12] 董阳阳,阿衣古丽·阿力木,阿依古扎尔·木合塔尔江,等.响应面优化真空包装羊肉块加工工艺[J].中国调味品,2023,48(1):128-133.
- [13] 师帅.年龄和性别对新疆柯尔克孜羊肉品质特性的影响研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.
- [14] 俞彭欣.和田地区不同品种不同部位羊肉营养品质与食用品质特性差异研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
- [15] KOKOSZYŃSKI D, WŁODARCZYK K, ŻOCHOWSKA-KUJAWSKA J, et al. Effect of intramuscular fat level on carcass composition, physicochemical characteristics, texture, and microstructure of breast muscle of broiler chickens [J]. Poultry Science, 2025, 104(2): 104772.
- [16] SU L, ZHAO Z, XIA J, et al. Protecting meat color: The interplay of betanin red and myoglobin through antioxidation and coloration [J]. Food Chemistry, 2024, 442: 138410.
- [17] 窦玉琴,孙万成,罗毅皓,等.不同部位及地区藏羊肉的肉品质及其组织学特性[J].食品研究与开发,2023,44(9):59-68.
- [18] 甄少波,王鹏杰,张炎,等.羊肉色泽影响因素的研究进展[J].食品科技,2022,47(10):148-152.
- [19] KARAMAN E E, CEYHUN SEZGIN A. Effect of marination process with different formulation applied to beef on physio-chemical quality parameters and sensory properties of meat themed thesis [J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2024, 38: 101005.
- [20] 刘纯友,付春婷,许金蓉,等.低温贮藏过程中水牛肉品质变化研究[J].食品工业科技,2020,41(2):273-278,87.
- [21] 赵天霞,李升升,张强龙,等.基于多元统计分析藏羊不同部位肉的品质特性[J].现代食品科技,2025,41(9):276-288.
- [22] 陈素勤.凉山半细毛羊不同部位肉品质及其加工特性研究[D].成都:成都大学,2024.
- [23] HUANG F, HUANG M, XU X, et al. Influence of heat on protein degradation, ultrastructure and eating quality indicators of pork [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2011, 91(3): 443-448.
- [24] BI Y, SHAN Q, LUO R, et al. Dynamic changes in water mobility and taste substances of cooked Tan lamb meat after chilled storage [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 117: 105133.
- [25] WANG Y, TIAN X, LIU X, et al. Effects of different cooking methods on physicochemical, textural properties of yak meat and its changes with intramuscular connective tissue during *in vitro* digestion [J]. Food Chemistry, 2023, 422: 136188.
- [26] KNIGHT M I, LINDEN N, PONNAMPALAM E N, et al. Development of VISNIR predictive regression models for ultimate pH, meat tenderness (shear force) and intramuscular fat content of Australian lamb [J]. Meat Science, 2019, 155: 102-108.
- [27] LAN M, LI L, LI T, et al. Gel properties and *in vitro* digestion of sea bass (*Lateolabrax japonicus*) myofibrillar protein-Lipid composite gels: Focus on lipid type and content [J]. LWT, 2024, 191: 115561.
- [28] WANG W, ZHOU X, LIU Y. Characterization and evaluation of umami taste: A review [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2020, 127: 115876.
- [29] BAI S, YOU L, JI C, et al. Formation of volatile flavor compounds, maillard reaction products and potentially hazard substance in China stir-frying beef sao zi [J]. Food Research International, 2022, 159: 111545.
- [30] LIU Q, GU X, WEN R, et al. Changes in meat quality and volatile flavor compounds profile in beef loin during dry-aging [J]. LWT, 2024, 205: 116500.
- [31] CHEN L, ZHANG M, FENG T, et al. Comparative characterization of flavor precursors and volatiles in Chongming white goat of different ages by UPLC-MS/MS and GC-MS [J]. Food Chemistry: X, 2024, 24: 101929.
- [32] 中拉毛草,张锐,林宇红,等.两种产地藏羊肉挥发性风味物质和脂肪酸组成比较研究[J].保鲜与加工,2024,24(1):48-57.
- [33] 李嘉灏,曾瑶英,熊玉帛,等.基于HS-SPME-GC-MS及电子舌对预制梅菜扣肉关键性风味与过熟味评价分析[J].食品工业科技,2024,45 (21):234-245.
- [34] JIANG Q, ZHANG H, GAO P, et al. Effects of different thermal methods and degrees on the flavor of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillets: Fatty acids, volatile flavor and taste compounds [J]. Food Chemistry, 2024, 461: 140887.
- [35] ZHANG C, WANG J, MA Z, et al. Comprehensive analysis of the effects of cooking conditions on the quality, sensory characteristics, and flavor profile of glutinous rice chicken, a Chinese traditional poultry meat product [J]. Food Chemistry: X, 2024, 24: 101868.
- [36] 袁彬宏,陈亚淑,周琦,等.亚麻籽油挥发性风味物质研究进展[J].食品科学,2023,44(19):290-298.
- [37] 王维婷,周萌,杜鹏飞,等.不同月龄莱芜黑山羊屠宰性能及肉质比较研究[J].肉类研究,2022,36(5):21-28.
- [38] SONG X, ZHU L, WANG X, et al. Characterization of key aroma-active sulfur-containing compounds in Chinese Laobaigan Baijiu by gas chromatography-olfactometry and comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled with sulfur chemiluminescence detection [J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124959.
- [39] WU H, HE Z, YANG L, et al. Generation of key aroma compounds in fat and lean portions of non-smoked bacon induced via lipid pyrolysis reaction [J]. Food Chemistry, 2024, 437: 137684.
- [40] WU W, ZHAN J, TANG X, et al. Characterization and identification of pork flavor compounds and their precursors in Chinese indigenous pig breeds by volatile profiling and multivariate analysis [J]. Food Chemistry, 2022, 385: 132543.
- [41] WANG F, GAO Y, WANG H, et al. Analysis of volatile compounds and flavor fingerprint in Jingyuan lamb of different ages using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) [J]. Meat Science, 2021, 175: 108449.
- [42] WU Q, ZANG M, WANG S, et al. Changes in flavors profiles of stewed bone-in lamb loin during cooking by DHS/GC-MS combined with electronic bionic systems [J]. Food Bioscience, 2023, 53: 102767.