

宁夏滩羊肉质量属性及与内蒙古羊肉品质差异分析

刘文营, 臧明伍, 李 享, 张顺亮, 王守伟*

(中国肉类食品综合研究中心 国家肉类加工工程技术研究中心 肉类加工技术北京市重点实验室
北京食品科学研究院 北京 100068)

摘要 以察哈尔羊、苏尼特羊和市售羊肉作为对照,对滩羊肉蛋白质、粗脂肪、水分、脂肪酸、氨基酸、游离氨基酸、解冻损失、主体风味特征、色泽、挥发性有机物,以及熟制羊肉的主体风味和滋味特性进行分析。结果显示,在营养属性方面,察哈尔羊肉蛋白质含量最高($P<0.05$),市售羊肉蛋白质含量最低;苏尼特羊和察哈尔羊肉粗脂肪含量最高,市售羊肉粗脂肪含量最低;市售羊肉水分含量最高,苏尼特羊和察哈尔羊肉水分含量最低;苏尼特羊和市售羊肉必需氨基酸含量最高,且以苏尼特羊肉必需氨基酸与非必需氨基酸含量比值最大($P<0.05$);察哈尔羊肉脂肪酸含量最高($P<0.05$),市售和苏尼特羊肉脂肪酸含量最低。察哈尔羊肉解冻损失较低($P<0.05$),苏尼特羊肉解冻损失较高。在感官品质方面,滩羊肉颜色值优于其它样品,且冻融后得到增强;各样品及其熟制品均具有独特的风味特征,通过主成分可区分生鲜样品;熟制样品中,除市售羊肉和察哈尔羊肉风味相似外,其它样品间也可通过主成分进行区分;醛类是羊肉风味呈现的主体物质,滩羊肉中甲氧基-苯基-肪含量较高,熟制滩羊肉苦味较为明显。结论:综合营养属性、理化性质和感官特征可以对羊肉进行差异化分析。

关键词 滩羊肉; 苏尼特羊肉; 察哈尔羊肉; 主体风味; 色泽; 滋味; 营养

文章编号 1009-7848(2021)09-0314-14 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2021.09.035

羊肉在我国畜肉生产中具有重要地位,近 5 年来,我国羊肉产量分别为 441,459,468,475 万 t 和 488 万 t^[1-5],呈现逐年增加的态势,尤其是在非洲猪瘟疫情^[6]等因素影响导致动物蛋白短缺的情况下,羊肉在供给动物蛋白质以及人们改善饮食上的地位越来越重要。

羊肉不仅具有优良的感官和食用品质,而且具有较高的营养价值,如多不饱和脂肪酸等^[7]。影响羊肉品质的因素众多,包括品种^[8]、饲养方案^[9-11]、屠宰方式^[12]、贮藏策略^[13]等均对羊肉的营养成分、理化性质和加工品质产生影响^[14]。宁夏和内蒙古均为我国优质羊肉的产地。盐池滩羊是宁夏回族自治区盐池县特产,因肉嫩、无膻味、味道鲜美和脂肪分布均匀而闻名;苏尼特羊和察哈尔羊均为内蒙古地区的优势畜种,三者均为实施中国地理标志产品。为对滩羊肉的营养和理化属性进行量化分析,获取滩羊肉的特征性指标,本文以苏

尼特羊、察哈尔羊和市售羊肉(市售羊肉源自内蒙古地区的羊肉,品种不详)作为对照,为开展滩羊肉品质量化分析,对弄清滩羊肉的基本营养属性和特征性指标具有重要意义,也为羊肉品质评价提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

本文所选羊均为 10 月龄,自由采食,公、母各 5 头。分析样本均选取左侧背最长肌,盐池滩羊肉(TM, $n=10$),购于宁夏盐池县鑫海清真食品有限公司;市售羊肉(MM, $n=10$),购于北京市西城区牛街清真牛羊肉市场;察哈尔羊肉(CM, $n=10$)和苏尼特羊肉(SM, $n=10$),购于正蓝旗上都牛肉有限公司。样品均为排酸(0~4 °C,24 h)后真空包装冷冻(-18 °C)样品。

盐酸、氢氧化钠、乙醇、石油醚、乙醚、甲基红、亚甲基蓝、硫酸、硼酸(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;氯化钾(30 mmol/L 和 3.33 mol/L)、酒石酸溶液(0.3 mmol/L)、饱和 AgCl 溶液、正极清洗液、负极清洗液,日本 INSENT 公司;茚三酮显色液(货号 299-70501),日本和光纯药工业株式会社(Wako)。

收稿日期: 2020-09-08

基金项目: 宁夏回族自治区东西部科技合作计划项目
(2017BY068)

作者简介: 刘文营(1983—),男,硕士,高级工程师

通信作者: 王守伟 E-mail: cmrcsw@126.com

1.2 仪器与设备

FSP-625 电子干燥箱, 日本东洋产业株式会社; CR-400 色差计, 柯尼卡美能达投资有限公司; PEN3 电子鼻, 德国 Airsense 公司; BSA822-CW 天平, 赛多利斯科学仪器有限公司; Cascada BIO 纯水机, 美国 PALL 公司; 0.22 μm 微滤膜, 美国 PALL 公司; F6/10-10G 超细匀浆器, 上海 FLUKO 流体机械制造有限公司; TS5000Z 味觉分析系统, 日本 INSENT 公司; L-8900 高速全自动氨基酸分析仪, 日本 HITACHI 株式会社; SH-SPME-09 固相微萃取探针 (聚丙烯酸酯/聚二甲基硅氧烷涂层), 青岛盛瀚色谱技术有限公司; GSMS-QP2020 气相色谱-质谱联用仪, 日本 SHIMADZU 株式会社; Rtx-wax 色谱柱 (填料为聚乙二醇, 长 30 m, 内径 0.25 mm, 膜厚 0.25 μm), 日本 SHIMADZU 株式会社。

1.3 方法

1.3.1 羊肉营养属性分析 参照国家标准方法, 蛋白质含量测定采用凯氏定氮法^[15]、水分测定采用直接烘干法^[16]、粗脂肪采用索氏提取法^[17]、脂肪酸测定采用甲酯化法^[18], 对羊肉中蛋白质、水分、粗脂肪含量和脂肪酸组分进行测定, 每组做 10 次平行。

1.3.2 解冻损失 (thawing loss, TL) 计算 参考文献[19]方法, 以解冻前、后的质量差计算解冻损失率, 每个样品测试 1 次, 每组样品做 10 次。解冻损失率计算公式如下:

$$TL(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

式中: m_1 ——羊肉解冻前质量, g; m_2 ——羊肉解冻后质量, g。

1.3.3 羊肉色差信息分析 参考国家标准^[20]方法, 羊肉解冻后 4 $^{\circ}\text{C}$ 恒温 1 h, 随机采集羊肉均匀切面颜色的三刺激值 (X 、 Y 、 Z), 羊肉颜色信息采集切面直径不小于 10 mm, 标准白板为 D65, 可见角度为 10 $^{\circ}$, 孔径 10 mm。通过计算获取样品的亮度 (lightness, L^*)、红度 (redness, a^*) 和黄度 (yellowness, b^*) 值, 每个样品随机测试 5 个部位, 每组样品做 50 次平行。色泽计算公式如下:

$$L^* = 116 \times (Y/Y_0)^{1/3} - 16 \quad (2)$$

$$a^* = 500 \times [(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \quad (3)$$

$$b^* = 200 \times [(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \quad (4)$$

1.3.4 羊肉游离氨基酸和总氨基酸组分分析 参考国家标准^[24]和文献[25]方法, 采用氨基酸自动分析仪进行氨基酸组分分析。

氨基酸自动分析仪工作条件为: 缓冲液流速 0.4 mL/min; 反应液为茚三酮试剂, 流速 0.35 mL/min; 进样量 20 μL ; 分离柱为 4.6 mm ID \times 60 mm L; 反应单位温度 140 $^{\circ}\text{C}$; 柱温 57 $^{\circ}\text{C}$; 检测波长 440 nm 和 570 nm。结果标记为: 平均值 \pm 标准差, 游离氨基酸含量保留 3 位有效数字, 总氨基酸含量保留 2 位有效数字。

1.3.5 羊肉挥发性有机物分析 参考文献 [23] 方法, 采用固相微萃取-气相色谱质谱法 (Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometer, SPME-GC-MS), 通过 NIST 谱库检索分析挥发性有机物。依据有机物峰面积, 采用面积归一法, 分析有机物组分的相对含量。

GC 程序参数: 柱箱温度 35 $^{\circ}\text{C}$, 进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 进样方式不分流, 进样时间 1 min, 流量控制方式为线速度, 压力 82.5 kPa, 总流量 33.0 mL/min, 柱流量 1.52 mL/min, 线速度 44.4 cm/s, 吹扫流量 1.0 mL/min, 分流比 20.0。柱箱温度控制程序为 35.0 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3.0 min, 然后 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 200 $^{\circ}\text{C}$, 再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3.0 min。

MS 程序参数: 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$, 接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 溶剂延迟时间 1 min, 扫描间隔 0.3 s, 扫描速度 1 666 amu/sec, 扫描开始 30.0 m/z , 扫描结束 450.0 m/z 。

1.3.6 羊肉熟制 参考文献[21]方法, 略有修改, 涮制羊肉切片厚度 2 mm, 10 份羊肉各取 50 g, 混匀后置沸水中煮 2 min, 纯水用量为 2 000 mL, 待肉样温度降为室温后进行主体风味特征和滋味分析。

1.3.7 羊肉和熟制羊肉主体风味差异和线性判别分析 参考文献[22], [23]方法, 采用电子鼻分析羊肉的主体风味特征, 并略作修改。在室温 (25 $^{\circ}\text{C}$) 条件下取 2 g 均匀样品置样品瓶内, 恒温 2 h 后测试。电子鼻加热仓温度 50 $^{\circ}\text{C}$, 振动 2 min, 数据采集时间为 90 s, 分析 70 s 时采集的数据。每个生羊肉样品测试 1 次, 每组样品共测试 10 次。熟制羊肉, 样品混匀后随机进行 5 次测试。

1.3.8 熟制羊肉滋味特性差异分析 参考文献[26],[27]方法,采用味觉分析系统对羊肉的滋味进行分析。取 20.0 g 混匀熟制羊肉,加入纯水(1:5, $m:V$)后均质混匀(10 000 r/min, 1 min),浊液离心(8 000 r/min, 5 min)后过滤,取 50 mL 上清液测试,每个样品测试 3 次。

1.4 数据处理

除明确说明外,所有试验均重复 10 次,结果标记为:平均值±标准差。用电子鼻仪器数据处理时,用 Winmuster 软件对风味成分进行主成分分析(principal component analysis, PCA)和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)。

采用 SPSS 9.1 进行数据差异分析,用 Origin8.0 进行数据整理和作图。

2 结果与讨论

2.1 羊肉营养属性及解冻损失

羊肉营养物质含量见表 1。察哈尔羊肉蛋白质含量最高($P<0.05$),其次是苏尼特羊肉、滩羊肉和市售羊肉,然而,滩羊肉蛋白质含量与市售羊肉和苏尼特羊肉含量的差异均不显著($P>0.05$)。察哈尔羊肉或苏尼特羊肉水分含量显著低于市售羊肉或滩羊肉($P<0.05$),且察哈尔羊肉与苏尼特羊肉,以及市售羊肉与滩羊肉之间水分含量差异不显著($P>0.05$)。与之相反,察哈尔羊肉或苏尼特羊肉粗脂肪含量显著高于市售羊肉或滩羊肉($P<0.05$),且察哈尔羊肉与苏尼特羊肉,以及市售羊肉与滩羊肉之间粗脂肪含量差异不显著($P>0.05$)。

蛋白质在滩羊肉风味呈现上有重要作用^[28]。

马琴琴等^[29]分析不同饲料组合对滩羊肉品质的影响,滩羊肉最长肌、股部和肩部蛋白质含量分别为(20.08±1.73)%,(20.79±1.43)%和(21.18±1.02)%,与本文结果较为接近;粗脂肪含量为(4.33±0.62)%,(6.33±0.29)%和(7.22±0.31)%,均高于本文结果;干物质含量为(42.54±0.30)%,(34.10±0.69)%和(31.12±4.39)%,和本文数据存在交集;张俊丽等^[30]分析不同月龄滩羊肉品质,6月龄、12月龄和24月龄滩羊最长肌蛋白质含量分别为(20.68±0.35)%,(19.87±0.67)%和(19.66±0.33)%,数值均小于本文结果。

苏尼特羊肉和察哈尔羊肉在水分和粗脂肪含量上没有显著差异,察哈尔羊肉蛋白质含量明显高于苏尼特羊肉($P<0.05$),这可能是由于品种^[14]和饲料差异^[31]导致羊肉质量差异。肖芳等^[32]分析锡林郭勒草原羊肉营养成分,羊最长肌蛋白质、脂肪和水分含量为(18.16±2.34)%,(10.31±1.99)%和(55.35±0.87)%,蛋白质含量小于本文结果,脂肪含量大于本文结果,水分含量小于本文结果,这可能与样品性质差异有关^[14]。

解冻损失是影响产品经济价值的重要因素,4种羊肉中,察哈尔羊肉解冻损失最小($P<0.05$),其它样品之间差异不显著($P>0.05$)。解冻损失大小与其原料的质量属性有关,包括 pH 值、可溶性蛋白含量、肌纤维分布等,均是影响肌肉蛋白持水力的重要因素。

与内蒙古所产羊肉相比,滩羊肉蛋白质和粗脂肪含量处于较低的水平,而水分含量、解冻损失处于较高水平。

表 1 羊肉营养属性及解冻损失

Table 1 Nutritional properties and thawing loss of mutton

参数	羊肉样品组			
	TM	MM	SM	CM
蛋白质/%	22.62 ± 0.59 ^{ab}	21.11 ± 2.62 ^a	23.09 ± 1.12 ^b	30.29 ± 1.94 ^c
水分/%	74.35 ± 0.57 ^b	74.23 ± 1.16 ^b	72.74 ± 0.61 ^a	72.34 ± 0.58 ^a
粗脂肪/%	2.57 ± 0.16 ^a	3.33 ± 0.89 ^a	5.23 ± 0.92 ^b	5.11 ± 1.17 ^b
解冻损失/%	5.52 ± 1.57 ^b	5.07 ± 1.21 ^b	5.96 ± 1.30 ^b	4.08 ± 0.71 ^a

注:同行肩标 a~c 表示具有显著性差异($P<0.05$)。

2.2 羊肉解冻前、后的颜色变化

颜色是肉制品最重要的质量属性,也是影响消费者购买意愿的重要因素。羊肉在解冻前、后颜

色的变化见表 2。除滩羊肉解冻前、后亮度变化显著外($P<0.05$),其它羊肉亮度均没有发生明显变化($P>0.05$),其中以滩羊肉解冻前亮度值最高($P<$

0.05), 苏尼特羊和察哈尔羊肉解冻前、后亮度值最低($P<0.05$), 且两者差异不显著($P>0.05$)。市售羊肉解冻前、后亮度值较察哈尔羊肉和苏尼特羊肉高($P<0.05$), 解冻后颜色与滩羊肉解冻后差异不显著($P>0.05$)。

4 种样品解冻后红度值均明显提升, 其中以滩羊肉解冻后红度值最高($P<0.05$), 市售羊、察哈尔羊和苏尼特羊肉解冻前红度值差异不显著 ($P>0.05$), 均低于滩羊肉解冻前红度值($P<0.05$)。市售和苏尼特羊肉解冻后红度值差异不显著 ($P>0.05$), 察哈尔羊和滩羊肉解冻后红度值逐渐升高($P<0.05$)。与红度值变化类似, 羊肉解冻后黄度值均显著升高($P<0.05$)。解冻前样品中, 察哈尔羊肉黄度值最低($P<0.05$), 市售羊和苏尼特羊肉黄度

值高于察哈尔羊肉($P<0.05$), 两者差异不显著($P>0.05$), 滩羊肉黄度值最高($P<0.05$)。解冻后样品中, 滩羊肉黄度值最高($P<0.05$), 苏尼特羊肉黄度值最低($P<0.05$)。

影响羊肉颜色的因素众多, 屠宰前禁食静养会使 L^* 值下降^[33], 冷冻方式和贮藏时间也影响羊肉的 a^* 和 b^* ^[34], 羊群体和区域位置不同对颜色的影响最大^[35]。肌红蛋白含量增加导致羊肉亮度值下降^[35], 在本文中蛋白质含量与羊肉 L^* 值也呈一定的负相关。羊肉解冻后红度值和黄度值上升, 可能与水分在冷冻条件下以不规则冰晶形式分布于肌纤维间隙有关。冰晶对光的散射导致羊肉红度和黄度的色度值小于实际数值。解冻后的羊肉更为鲜艳。

表 2 羊肉解冻前、后的亮度、红度和黄度值

Table 2 Lightness, redness and yellowness of mutton before and after thawing

参 数	羊肉样品组							
	TM		MM		SM		CM	
	解冻前	解冻后	解冻前	解冻后	解冻前	解冻后	解冻前	解冻后
L^*	42.94 ± 4.34 ^d	39.23 ± 4.29 ^c	37.15 ± 4.90 ^b	38.36 ± 3.58 ^{bc}	33.89 ± 4.73 ^a	35.41 ± 3.10 ^a	34.20 ± 3.40 ^a	34.63 ± 3.95 ^a
a^*	8.90 ± 2.18 ^b	16.24 ± 3.41 ^c	7.87 ± 1.59 ^a	11.36 ± 1.97 ^c	8.39 ± 2.06 ^{ab}	13.77 ± 2.00 ^c	8.33 ± 1.88 ^{ab}	10.93 ± 2.56 ^d
b^*	10.84 ± 1.90 ^c	15.50 ± 2.12 ^c	9.24 ± 1.57 ^b	12.61 ± 2.02 ^d	7.46 ± 1.70 ^b	12.84 ± 1.70 ^c	8.82 ± 2.12 ^a	11.49 ± 2.58 ^d

注: 同行肩标 a~e 表示具有显著性差异($P<0.05$)。

2.3 羊肉主体风味差异和线性判别

4 种羊肉主体风味特征和线性判别分析见图 1, 在 PC1 和 PC2 方向上的方差总贡献率为 99.57%, 高于 85%, 即羊肉具有良好的风味特征, 其中以察哈尔羊肉主体风味在 PC1 和 PC2 方向上的分布最广, 市售和滩羊肉主体风味重合度较

高, 苏尼特羊肉主体风味分布在市售羊和滩羊肉主体风味重合区域。4 种羊肉在 LD1 和 LD2 方向上的方差贡献率为 91.26%, 高于 85%, 它们可通过主体风味特征进行区分。羊肉风味受原料品质影响, 诸如羊肉生产过程中的饲料^[10-11]、氧化状态^[36]等都会对羊肉风味产生影响。宁夏盐池滩羊生长

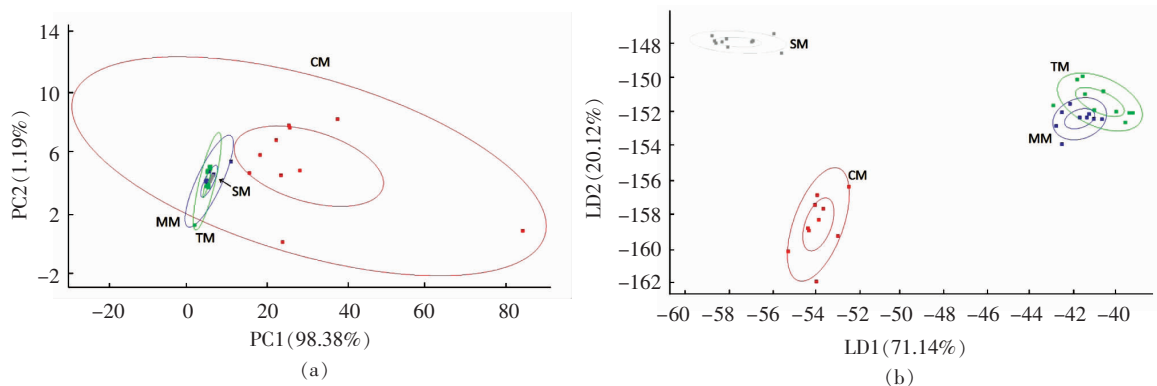


图 1 不同羊肉样品的 PCA 分析(a)和 LDA 分析(b)

Fig.1 PCA analysis (a) and LDA analysis (b) of different mutton

区域为盐池县域,市售羊分布于内蒙古地区,察哈尔羊和苏尼特羊分布于锡林郭勒地区,虽然它们进食牧草可能相似,但是地区、品种差异可能导致羊肉主体风味特征存在交集,也存在较大差异。

2.4 羊肉游离氨基酸和总氨基酸组分

羊肉中游离氨基酸含量见表3所示,苏尼特羊肉游离氨基酸总量最多($P<0.05$),市售、滩羊和察哈尔羊肉游离氨基酸含量最少,且相互间差异不显著($P>0.05$)。由表1可知,市售、滩羊、苏尼特羊和察哈尔羊肉蛋白质含量依次升高,苏尼特羊肉游离氨基酸含量明显高于察哈尔羊肉,说明游离氨基酸含量与蛋白质含量不具有明显相关性。

氨基酸,尤其是游离氨基酸具有重要的呈味作用^[37]。苏尼特羊肉中游离氨基酸含量最高($P<0.05$),且具有最大的必需氨基酸与非必需氨基酸比值($P<0.05$),其它3种羊肉在游离氨基酸总量和必需氨基酸与非必需氨基酸比值上没有显著差异($P>0.05$),游离氨基酸组分的差异可能影响肉

制品的滋味和风味特征。

羊肉总氨基酸含量见表4。所有羊肉氨基酸总量、必需氨基酸含量和非必需氨基酸含量差异不明显,滩羊肉和苏尼特羊肉必需氨基酸与非必需氨基酸的比值较低,市售羊肉、滩羊肉和察哈尔羊肉比值较高,且相互间差异不显著($P>0.05$),滩羊肉与苏尼特羊肉差异也不显著($P>0.05$)。由表1可知,市售羊肉、滩羊肉、苏尼特羊肉和察哈尔羊肉蛋白质含量逐渐升高,与表3中游离氨基酸含量与蛋白质含量之间的关系类似,氨基酸含量同样与蛋白质含量不具有相关性。

由表3可知,苏尼特羊肉游离氨基酸中必需氨基酸/非必需氨基酸比值最高($P<0.05$),而在总氨基酸含量上,滩羊肉、市售羊肉和察哈尔羊肉必需氨基酸/非必需氨基酸比值高于苏尼特羊肉,且滩羊肉与苏尼特羊肉之间的差异不显著($P>0.05$)。

表3 羊肉中游离氨基酸组分(mg/100 g)

Table 3 Free amino acid components in mutton (mg/100 g)

名称	简称	羊肉样品组			
		TM	MM	SM	CM
天冬氨酸	Asp	0.024 ± 0.046 ^b	0.012 ± 0.006 ^{ab}	0.001 ± 0.001 ^a	0.001 ± 0.001 ^a
苏氨酸	Thr	0.412 ± 0.531 ^a	1.370 ± 0.731 ^b	0.003 ± 0.003 ^a	0.015 ± 0.020 ^a
丝氨酸	Ser	0.100 ± 0.130 ^b	0.135 ± 0.050 ^b	0.003 ± 0.004 ^a	0.007 ± 0.012 ^a
谷氨酸	Glu	0.368 ± 0.273 ^c	0.220 ± 0.047 ^b	0.166 ± 0.057 ^{ab}	0.069 ± 0.042 ^a
甘氨酸	Gly	0.236 ± 0.388 ^b	0.376 ± 0.152 ^b	0.022 ± 0.023 ^a	0.025 ± 0.012 ^a
丙氨酸	Ala	0.522 ± 0.548 ^b	1.117 ± 0.398 ^c	0.098 ± 0.058 ^a	0.117 ± 0.034 ^a
半胱氨酸	Cys	0.350 ± 0.664 ^a	0.044 ± 0.037 ^a	3.185 ± 1.429 ^c	1.819 ± 0.771 ^b
缬氨酸	Val	0.496 ± 0.381 ^b	0.160 ± 0.029 ^a	0.167 ± 0.350 ^a	0.032 ± 0.040 ^a
甲硫氨酸	Met	0.036 ± 0.046 ^{bc}	0.057 ± 0.009 ^c	0.003 ± 0.003 ^a	0.014 ± 0.016 ^{ab}
异亮氨酸	Ile	0.051 ± 0.066 ^{bc}	0.082 ± 0.011 ^c	0.005 ± 0.001 ^a	0.030 ± 0.026 ^{ab}
亮氨酸	Leu	0.143 ± 0.159 ^{ab}	0.216 ± 0.023 ^b	0.077 ± 0.104 ^a	0.167 ± 0.009 ^{ab}
酪氨酸	Tyr	0.042 ± 0.023 ^b	0.095 ± 0.027 ^c	0.101 ± 0.052 ^c	0.002 ± 0.002 ^a
苯丙氨酸	Phe	0.046 ± 0.095	0.047 ± 0.030	0.038 ± 0.062	0.001 ± 0.001
赖氨酸	Lys	0.045 ± 0.032 ^a	0.035 ± 0.022 ^a	1.752 ± 0.296 ^c	0.665 ± 0.444 ^b
组氨酸	His	0.351 ± 0.214 ^b	0.086 ± 0.122 ^a	0.552 ± 0.133 ^c	0.169 ± 0.038 ^a
精氨酸	Arg	0.180 ± 0.109 ^b	0.180 ± 0.042 ^b	0.183 ± 0.045 ^b	0.097 ± 0.015 ^a
羟脯氨酸	Hyp	0.186 ± 0.394	0.088 ± 0.057	0.059 ± 0.060	0.077 ± 0.037
脯氨酸	Pro	0.253 ± 0.187 ^a	0.431 ± 0.312 ^a	0.250 ± 0.133 ^a	0.784 ± 0.673 ^b
总含量		3.843 ± 1.827 ^a	4.751 ± 1.152 ^a	6.665 ± 1.733 ^b	4.091 ± 0.994 ^a
必需氨基酸		1.229 ± 0.697 ^a	1.967 ± 0.744 ^b	2.045 ± 0.525 ^b	0.926 ± 0.436 ^a
非必需氨基酸		2.263 ± 1.459 ^b	2.741 ± 0.515 ^b	1.435 ± 0.301 ^a	1.347 ± 0.711 ^a
必需氨基酸/非必需氨基酸		0.580 ± 0.276 ^a	0.702 ± 0.201 ^a	1.426 ± 0.176 ^b	0.905 ± 0.686 ^a

注:不同肩标字母表示具有显著性差异($P<0.05$)。

表4 羊肉中总氨基酸组分(mg/100g)
Table 4 Total amino acid component in mutton (mg/100g)

名称	简称	羊肉样品组			
		TM	MM	SM	CM
天冬氨酸	Asp	115.85 ± 15.58	116.36 ± 22.41	100.05 ± 35.78	97.27 ± 34.24
苏氨酸	Thr	45.36 ± 6.35	44.78 ± 9.85	33.96 ± 14.40	35.73 ± 16.14
丝氨酸	Ser	48.04 ± 6.99	48.66 ± 9.63	44.16 ± 14.60	40.24 ± 14.56
谷氨酸	Glu	239.76 ± 30.78	253.59 ± 38.04	259.69 ± 60.20	224.50 ± 67.46
甘氨酸	Gly	55.08 ± 7.15	55.54 ± 10.80	54.24 ± 13.35	48.90 ± 15.66
丙氨酸	Ala	67.79 ± 17.03	67.32 ± 22.61	76.22 ± 19.17	66.26 ± 20.44
半胱氨酸	Cys	1.03 ± 2.63 ^a	0.95 ± 2.10 ^a	10.92 ± 2.92 ^c	6.95 ± 1.83 ^b
缬氨酸	Val	81.36 ± 9.71	81.85 ± 12.54	72.35 ± 16.36	73.44 ± 22.44
甲硫氨酸	Met	24.15 ± 12.74 ^a	33.62 ± 14.38 ^{ab}	40.42 ± 11.62 ^b	32.70 ± 11.92 ^{ab}
异亮氨酸	Ile	63.36 ± 7.88	65.40 ± 9.71	54.73 ± 12.13	57.60 ± 17.24
亮氨酸	Leu	138.02 ± 17.57	142.14 ± 22.51	148.31 ± 34.06	127.73 ± 38.33
酪氨酸	Tyr	50.65 ± 7.31 ^{ab}	54.10 ± 9.01 ^b	52.63 ± 12.51 ^b	41.99 ± 13.17 ^a
苯丙氨酸	Phe	70.57 ± 8.99	74.39 ± 11.05	77.76 ± 17.81	67.04 ± 20.52
赖氨酸	Lys	137.56 ± 18.29	145.15 ± 21.32	145.19 ± 33.30	126.82 ± 37.91
组氨酸	His	51.05 ± 5.90	55.65 ± 7.68	57.84 ± 13.22	52.70 ± 16.00
精氨酸	Arg	99.51 ± 12.89	107.30 ± 15.20	105.96 ± 24.19	90.77 ± 27.71
羟脯氨酸	Hypro	9.45 ± 5.94	6.93 ± 5.63	4.99 ± 5.06	6.22 ± 5.68
脯氨酸	Pro	24.16 ± 4.66 ^a	21.82 ± 7.83 ^a	37.22 ± 14.74 ^b	26.47 ± 10.38 ^a
总含量		1322.75 ± 170.39	1375.55 ± 229.13	1376.64 ± 320.13	1223.33 ± 371.54
必需氨基酸		560.38 ± 66.81	587.32 ± 92.03	572.75 ± 134.43	521.07 ± 159.26
非必需氨基酸		762.37 ± 104.73	788.23 ± 138.79	803.92 ± 187.65	702.26 ± 212.58
必需氨基酸/非必需氨基酸		0.74 ± 0.02 ^{ab}	0.75 ± 0.03 ^b	0.71 ± 0.04 ^a	0.74 ± 0.02 ^b

注:不同肩标字母表示具有显著性差异($P < 0.05$)。

2.5 羊肉脂肪酸组分分析

羊肉脂肪酸组分受包括品种、月龄、饲料^[31,38-39]、性别、加工工艺^[30]等多种因素影响^[14]。羊肉中脂肪酸组分见表5,4种羊肉中含量较高的均为多不饱和脂肪酸,其次是单不饱和脂肪酸,饱和脂肪酸的含量最低。察哈尔羊肉的饱和脂肪酸含量明显高于其它样品($P < 0.05$),且市售、滩羊和苏尼特羊肉饱和脂肪酸含量差异不显著($P > 0.05$)。

羊肉中单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸和总脂肪酸含量均呈相同的变化趋势,以察哈尔羊肉含量最高($P < 0.05$)。滩羊肉和苏尼特羊肉脂肪酸含量低于察哈尔羊肉,且两者之间差异不显著($P > 0.05$)。市售羊肉的脂肪酸含量最低,且与苏尼特羊肉的脂肪酸含量差异不显著($P > 0.05$)。

李维红等^[40]分析滩羊肾脏、背膘和尾部脂肪

脂肪酸组分发现,滩羊脂肪中豆蔻酸($C_{14:0}$)、软脂酸($C_{16:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、油酸($C_{18:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$)和亚麻酸($C_{18:3}$)含量较高,且豆蔻酸($C_{14:0}$)和硬脂酸($C_{18:0}$)随年龄变化而差异显著($P < 0.05$);马丽娜等^[41]对不同部位的滩羊肉脂肪酸进行区分,发现不同部位的滩羊肉中 $C_{16:0}$ 、 $C_{18:0}$ 和 $C_{18:2n6c}$ 含量较高。本文中此组分含量亦处于较高的水平,而低于 $C_{15:1}$ 、 $C_{18:1n9t}$ 和 $C_{18:2n6t}$ 的含量;李昊等^[42]得出滩羊肉饱和脂肪酸中软脂酸($C_{16:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、亚油酸($C_{18:2n3}$)和油酸($C_{18:1n9}$)含量较高,与本文结果较为相似。对于滩寒杂交羊肉,软脂酸($C_{16:0}$)含量显著升高,硬脂酸($C_{18:0}$)和油酸($C_{18:1n9}$)含量显著降低,验证了羊肉脂肪酸组分受基因型的影响^[14,30,42]。

放牧和舍饲苏尼特羊肉油酸($C_{18:1}$)含量均较高,其次是软脂酸($C_{16:0}$)和硬脂酸($C_{18:0}$),且含有

少量的 EPA 和 DHA^[43],而本文中得到的苏尼特羊 量处于较高的水平,与文献结果相似。
肉 C_{18:2n6t}、C_{15:1} 和 C_{18:1n9t} 含量较高,不饱和脂肪酸含

表 5 羊肉脂肪酸含量(g/100g)
Table 5 Fat acid component in mutton (g/100g)

名称	简称	羊肉样品组			
		TM	MM	SM	CM
丁酸	C _{4:0}	0.003±0.005 ^a	0.018±0.017 ^b	0.003±0.009 ^a	0.000±0.001 ^a
己酸	C _{6:0}	-	-	0.003±0.006	-
辛酸	C _{8:0}	-	-	0.000±0.001	0.009±0.025
癸酸	C _{10:0}	0.015±0.005 ^b	0.006±0.003 ^a	0.011±0.005 ^{ab}	0.034±0.009 ^c
十一碳酸	C _{11:0}	0.164±0.004 ^a	0.159±0.007 ^a	0.168±0.024 ^a	0.187±0.021 ^b
十二碳酸	C _{12:0}	0.011±0.009 ^{ab}	0.004±0.002 ^a	0.013±0.007 ^b	0.031±0.015 ^c
十三碳酸	C _{13:0}	0.007±0.004 ^a	0.006±0.002 ^a	0.029±0.031 ^b	0.037±0.009 ^b
十四碳酸	C _{14:0}	0.270±0.190 ^b	0.095±0.048 ^a	0.281±0.100 ^b	0.726±0.234 ^c
顺-9-十四碳一烯酸	C _{14:1}	0.013±0.013 ^{ab}	0.006±0.003 ^a	0.016±0.010 ^{bc}	0.023±0.007 ^c
十五碳酸	C _{15:0}	0.064±0.045	0.017±0.008	0.303±0.900	0.031±0.009
顺-10-十五碳一烯酸	C _{15:1}	2.977±2.259 ^b	0.863±0.627 ^a	1.877±1.263 ^{ab}	6.678±2.268 ^c
十六碳酸	C _{16:0}	0.055±0.035 ^a	0.155±0.400 ^a	0.089±0.116 ^a	0.653±0.205 ^b
顺-9-十六碳一烯酸	C _{16:1}	0.007±0.014	0.007±0.006	0.014±0.040	-
十七碳酸	C _{17:0}	0.076±0.053 ^b	0.008±0.010 ^a	0.051±0.019 ^b	0.136±0.042 ^c
顺-10-十七碳一烯酸	C _{17:1}	0.036±0.043	0.057±0.029	-	-
十八碳酸	C _{18:0}	0.279±0.373	0.477±0.260	-	-
反-9-十八碳一烯酸	C _{18:1n9t}	2.037±2.192	-	1.177±0.683	1.382±1.821
顺-9-十八碳一烯酸	C _{18:1n9c}	0.032±0.043 ^a	0.021±0.036 ^a	0.163±0.514 ^a	2.672±2.596 ^b
反,反-9,12-反-9-十八碳二烯酸	C _{18:2n6t}	4.903±5.235 ^b	1.469±1.560 ^a	4.473±1.637 ^{ab}	12.529±4.324 ^c
顺,顺-9,12-反-9-十八碳二烯酸	C _{18:2n6c}	0.372±0.267 ^b	0.137±0.066 ^a	0.243±0.125 ^{ab}	0.627±0.192 ^c
顺,顺,顺-6,9,12-十八碳三烯酸	C _{18:3n6}	0.012±0.013	0.004±0.003	0.006±0.004	-
顺,顺,顺-9,12,15-十八碳三烯酸	C _{18:3n3}	0.012±0.014 ^b	0.012±0.005 ^b	0.001±0.003 ^a	0.007±0.007 ^{ab}
顺-11-二十二碳三烯酸	C _{20:1}	0.018±0.017 ^a	0.022±0.012 ^a	0.039±0.019 ^a	0.113±0.035 ^b
顺,顺-11,14-二十碳二烯酸	C _{20:2}	-	0.001±0.003	-	-
顺-11,14,17-二十碳三烯酸	C _{20:3n3}	0.046±0.036 ^b	0.015±0.007 ^a	0.022±0.010 ^a	0.056±0.015 ^b
顺-13,16-二十二碳二烯酸	C _{22:2n6}	0.019±0.020 ^{ab}	0.007±0.003 ^a	0.012±0.006 ^a	0.027±0.016 ^b
二十四碳酸甲酯	C _{24:0}	-	0.001±0.001	-	-
饱和脂肪酸含量		0.944±0.294 ^a	0.945±0.521 ^a	0.951±0.931 ^a	1.844±0.508 ^b
单不饱和脂肪酸含量		5.120±4.405 ^b	0.976±0.638 ^a	3.285±1.668 ^{ab}	10.868±3.663 ^c
多不饱和脂肪酸含量		5.363±5.578 ^b	1.645±1.631 ^a	4.756±1.675 ^{ab}	13.245±4.539 ^c
总含量		11.426±9.998 ^b	3.566±2.410 ^a	8.993±3.446 ^{ab}	25.957±8.701 ^c

注:不同肩标字母表示具有显著性差异(P<0.05)。

2.6 羊肉挥发性有机物组分分析

羊肉挥发性有机物组分见表 6、图 2。羊肉挥发性有机物以酸类物质含量最多【TM(30.595±3.492)% ,MM(29.637±8.471)% ,SM(42.219±

12.429)% ,CM(26.724±22.801)%】，除察哈尔羊肉烷烃类物质含量显著高于其它 3 种羊肉(P<0.05)外,羊肉在醇类、酸类、醛类、酯类、酮类和其它物质挥发性有机物含量上差异均不显著(P>0.05)。

挥发性物质中, 只在市售羊肉中检测到芳香族类物质, 滩羊肉中未检出烯炔类物质, 样品中均检测到 1-壬醇、1-辛烯-3-醇、2-乙基己醇、十三烷醇、正辛醇、丁酸、庚酸、壬酸、肉豆蔻酸、十二酸、十五烷酸、辛酸、乙酸、正癸酸、正己酸、正戊酸、反式-2-壬醛、癸醛、壬醛、正辛醛、甲基庚烯酮、2-甲氧基-3-甲基丁烷和正十四烷, 只在滩羊肉中检测到正十二烷、十二烷基酯十一碳十炔酸、甲酸、4-羟基-丁酸、3-十五烷基酯环丁烷羧酸、2-羟基-1-甲基丙酯硬脂酸、正丁醇、环癸醇、3-己醇、3-甲基-2-辛醇、2-己醇、棕榈油酸、十六烷醛、2-丙烯酸十二烷基酯丙位戊内酯、2,5-辛二酮和 2-十一酮, 只在内蒙古产羊肉中检测到 2-丙基-1-戊醇。即: 滩羊肉挥发性有机物种类较多, 尤其是甲氧基-苯基-脒【(25.265±20.138)%】, 甲氧基-苯基-脒是构成鲍鱼风味的主要物质^[44], 也是具有明显缩短出血和凝血时间小薊挥发油的主要成分^[45]。

由图 1 可知, 察哈尔羊肉在 PC1 和 PC2 方向上的分布范围最广, 其次市售羊肉和滩羊肉存在较多交集, 苏尼特羊肉处于市售羊肉和滩羊肉交集范围内。由此推测羊肉风味的主成分是醛类物

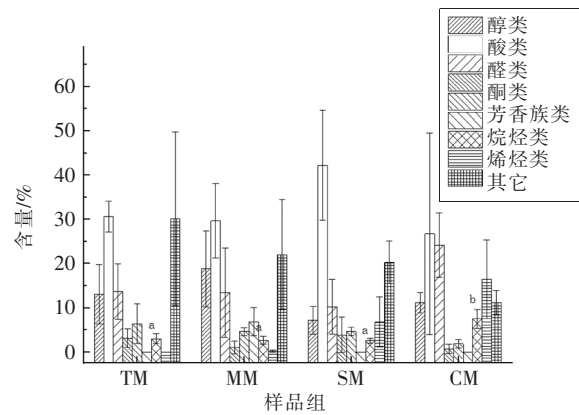


图 2 羊肉中挥发性有机物组分含量

Fig.2 Volatile organic compounds in mutton

质, 其中壬醛(脂肪味)、2-辛烯醛(水果味、果香味)、十八醛(脂肪香、蜡香)、十四醛(奶油香、果香)、癸醛(油脂味、橡胶味)、正辛醛(脂肪味、青果皮香)起到主要作用^[46]。同时, 1-辛烯-3-醇(蘑菇味)、己醇(油脂香、青香、果香)、乙醇(酸味、刺激味)、壬酸(干酪味、脂肪味)、甲基庚烯酮(肉味、脂肪味)和 2-十一酮(脂肪香、奶油香)等也在羊肉风味的呈现上起重要作用^[46-47]。

表 6 不同羊肉中的挥发性有机物(%)

Table 6 Volatile organic compounds from different mutton (%)

参数	名称	羊肉样品组			
		TM	MM	SM	CM
醇类	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇	0.711 ± 0.292	0.201 ± 0.284	1.151 ± 0.244	-
	(E)-6-甲基庚-4-烯-1-醇	-	-	-	0.185 ± 0.262
	1,4-脱水 D 甘露醇	-	-	-	0.086 ± 0.121
	1-壬醇	0.465 ± 0.164	0.763 ± 0.740	0.254 ± 0.197	0.345 ± 0.096
	1-十七烷醇	-	0.457 ± 0.646	-	-
	1-辛烯-3-醇	4.251 ± 3.925	8.504 ± 8.184	1.534 ± 1.147	3.895 ± 0.649
	2,3-丁二醇	-	0.288 ± 0.407	-	-
	2,4,7,9-四甲基-5-癸炔-4,7-二醇	-	-	0.171 ± 0.241	0.148 ± 0.209
	2-丙基-1-戊醇	-	0.749 ± 1.059	0.404 ± 0.571	0.769 ± 1.088
	2-己醇	0.295 ± 0.259	-	-	-
	2-乙基己醇	1.303 ± 1.134	1.175 ± 1.662	0.721 ± 1.020	1.383 ± 1.956
	3-己醇	0.195 ± 0.338	-	-	-
	3-甲基-2-辛醇	0.266 ± 0.461	-	-	-
	4-甲基-1-戊醇	-	-	0.048 ± 0.067	-
	反式-2-辛烯-1-醇	0.996 ± 0.524	3.366 ± 2.594	-	0.631 ± 0.053
	环癸醇	0.666 ± 1.153	-	-	-
	环十二醇	0.101 ± 0.175	-	-	0.162 ± 0.229
	十三烷醇	0.251 ± 0.115	0.091 ± 0.129	0.239 ± 0.339	0.085 ± 0.120

(续表 6)

参数	名称	羊肉样品组			
		TM	MM	SM	CM
	正丁醇	0.150 ± 0.259	-	-	-
	正庚醇	0.537 ± 0.379	0.196 ± 0.278	-	0.618 ± 0.187
	正戊醇	0.644 ± 0.677	0.456 ± 0.644	-	-
	正辛醇	2.205 ± 0.849	2.542 ± 1.102	2.391 ± 1.056	2.830 ± 1.350
	含量	13.034 ± 6.749	18.788 ± 8.615	7.184 ± 3.154	11.137 ± 2.263
酸类	2,2-二甲基丙酯甲氧基乙酸	-	-	0.464 ± 0.657	-
	2-羟基-1-甲基丙酯硬脂酸	0.238 ± 0.413	-	-	-
	3-十三烷基酯甲氧基乙酸	-	0.293 ± 0.414	-	-
	3-十五烷基酯环丁烷羧酸	0.242 ± 0.420	-	-	-
	4-甲基壬酸	-	-	0.228 ± 0.323	-
	4-羟基-丁酸	0.234 ± 0.405	-	-	-
	4-十三烷基酯环丁烷羧酸	-	-	-	0.189 ± 0.268
	丙酸	0.206 ± 0.056	-	0.179 ± 0.253	-
	丁酸	1.711 ± 0.403	0.973 ± 0.220	2.216 ± 0.109	1.757 ± 0.131
	庚酸	0.848 ± 0.142	0.254 ± 0.359	1.706 ± 0.018	0.731 ± 1.034
	甲酸	0.130 ± 0.226	-	-	-
	木焦油酸	-	-	-	0.323 ± 0.457
	壬酸	5.694 ± 1.667	2.748 ± 0.089	17.418 ± 11.122	10.448 ± 14.776
	肉豆蔻酸	4.090 ± 1.410	8.879 ± 7.808	1.081 ± 1.528	2.262 ± 3.199
	十二酸	0.535 ± 0.055	0.831 ± 0.357	0.854 ± 0.209	0.316 ± 0.446
	十二烷基酯十一碳十炔酸	0.216 ± 0.374	-	-	-
	十三烷酸	-	-	-	0.075 ± 0.106
	十五烷酸	2.827 ± 2.165	6.493 ± 0.705	0.190 ± 0.268	0.247 ± 0.349
	辛酸	1.097 ± 0.250	0.702 ± 0.053	2.325 ± 0.609	1.186 ± 1.677
	乙酸	8.599 ± 0.840	6.302 ± 0.980	9.127 ± 1.594	4.434 ± 0.488
	正癸酸	0.865 ± 0.033	0.234 ± 0.331	1.623 ± 0.416	0.979 ± 1.385
正己酸	2.654 ± 0.587	1.811 ± 0.146	4.425 ± 1.348	3.641 ± 0.469	
正戊酸	0.308 ± 0.065	0.117 ± 0.165	0.382 ± 0.237	0.136 ± 0.192	
棕榈油酸	0.102 ± 0.176	-	-	-	
含量	30.595 ± 3.492	29.637 ± 8.471	42.219 ± 12.429	26.724 ± 22.801	
醛类	(Z)-13-十八碳烯醛	0.253 ± 0.438	0.195 ± 0.276	-	-
	13-甲基四癸醛	0.049 ± 0.084	0.090 ± 0.128	-	-
	二十烷醛	-	-	0.197 ± 0.278	-
	反-2-辛烯醛	-	0.062 ± 0.087	-	-
	反式-2-壬醛	0.272 ± 0.318	0.741 ± 0.609	0.206 ± 0.291	0.533 ± 0.315
	癸醛	2.006 ± 0.905	1.755 ± 2.482	1.663 ± 1.931	3.476 ± 1.362
	壬醛	9.231 ± 4.621	9.651 ± 6.541	7.128 ± 4.453	17.078 ± 6.479
	十八醛	0.045 ± 0.078	-	-	-
	十二醛	0.040 ± 0.070	-	0.564 ± 0.798	-
	十六烷醛	0.050 ± 0.086	-	-	-
	十四烷醛	-	-	-	0.754 ± 1.066
	十五醛	0.109 ± 0.189	0.108 ± 0.152	-	-
	正辛醛	1.617 ± 1.507	0.777 ± 1.099	0.454 ± 0.642	2.329 ± 0.184
	含量	13.672 ± 6.221	13.379 ± 10.088	10.211 ± 6.241	24.170 ± 7.273
	酯类	2-丙烯酸十二烷基酯	0.109 ± 0.189	-	-
3-(N-丁基乙酰氨基)丙酸乙酯		-	-	0.291 ± 0.411	-
4-羟基丁酸乙酯		0.047 ± 0.082	0.070 ± 0.098	0.079 ± 0.112	-

(续表 6)

参数	名称	羊肉样品组			
		TM	MM	SM	CM
	4-羟基磷酸苯酯	-	0.209 ± 0.295	-	-
	苯乙酸己醇酯	-	-	-	0.177 ± 0.250
	丙位戊内酯	0.345 ± 0.143	-	-	-
	甲酸正己酯	0.568 ± 0.348	0.278 ± 0.393	-	-
	邻苯二甲酸二丁酯	0.984 ± 0.421	-	1.504 ± 0.905	0.363 ± 0.514
	邻苯二甲酸二甲酯	0.231 ± 0.258	0.139 ± 0.196	-	-
	邻苯二甲酸二异丁酯	0.827 ± 1.433	-	1.971 ± 2.788	-
	正己酸乙烯酯	-	0.243 ± 0.343	-	0.179 ± 0.253
	棕榈酸异丙酯	-	0.087 ± 0.122	-	-
	含量	3.111 ± 2.056	1.024 ± 1.449	3.845 ± 3.993	0.719 ± 1.017
酮类	2,5-辛二酮	0.187 ± 0.323	-	-	-
	2-壬酮	0.196 ± 0.339	4.237 ± 1.361	-	-
	2-十一酮	0.169 ± 0.293	-	-	-
	3-羟基-2-丁酮	4.711 ± 4.206	0.222 ± 0.314	3.546 ± 0.143	-
	甲基庚烯酮	0.433 ± 0.278	0.119 ± 0.168	0.541 ± 0.072	0.707 ± 0.439
	香叶基丙酮	0.635 ± 0.401	-	0.520 ± 0.735	1.142 ± 0.506
	含量	6.331 ± 4.510	4.578 ± 0.878	4.606 ± 0.949	1.849 ± 0.945
芳香族类	对二甲苯	-	2.905 ± 0.247	-	-
	邻二甲苯	-	1.948 ± 2.755	-	-
	乙苯	-	1.978 ± 0.677	-	-
	含量	-	6.832 ± 3.185	-	-
烷烃类	1,2-环氧十八烷	-	0.666 ± 0.942	-	-
	2,6,10,15-四甲基-十七烷	-	-	-	0.335 ± 0.474
	2,7,10-三甲基-十二烷	-	0.160 ± 0.226	-	-
	2-甲氧基-3-甲基丁烷	2.004 ± 0.751	1.566 ± 0.650	1.795 ± 0.462	2.828 ± 0.037
	3-乙基-2,6,10-三甲基十一烷	-	-	0.155 ± 0.219	-
	4,6-二甲基-十二烷	-	-	-	0.348 ± 0.491
	庚烷	-	-	-	0.122 ± 0.173
	甲基环戊烷	0.045 ± 0.049	0.039 ± 0.056	-	0.019 ± 0.027
	十七烷	-	-	-	1.093 ± 0.365
	十五烷	-	-	-	0.918 ± 1.299
	正二十烷	-	-	-	0.266 ± 0.376
	正十二烷	0.625 ± 0.341	-	-	-
	正十六烷	0.049 ± 0.085	-	0.421 ± 0.596	-
	正十四烷	0.262 ± 0.289	0.205 ± 0.289	0.188 ± 0.265	1.580 ± 1.039
	含量	2.985 ± 1.158a	2.637 ± 0.864a	2.558 ± 0.574a	7.509 ± 2.107b
烯烃类	3,5,5-三甲基-2-己烯	-	0.192 ± 0.272	-	-
	β -石竹烯	-	-	4.564 ± 4.430	13.946 ± 8.233
	苯乙烯	-	-	2.213 ± 1.244	2.485 ± 0.683
	含量	-	0.192 ± 0.272	6.777 ± 5.674	16.432 ± 8.916
其它物质	(Z)-5-四烯-3-炔	-	20.266 ± 12.027	-	-
	1-(1-萘甲基)-1H-咪唑	0.819 ± 1.419	-	-	-
	2-叔丁基-丙烷-1,3-二胺	0.018 ± 0.032	-	-	-
	二甲基砷	-	-	1.588 ± 0.438	0.105 ± 0.149
	二甲基亚砷	0.073 ± 0.126	-	-	-
	二乙二醇乙醚	0.173 ± 0.299	-	-	0.495 ± 0.210
	茴香脑	3.607 ± 2.142	0.219 ± 0.309	3.271 ± 0.622	4.562 ± 1.022

(续表 6)

参数	名称	羊肉样品组			
		TM	MM	SM	CM
	甲氧基-苯基-胍	25.265 ± 20.138	1.509 ± 0.151	15.382 ± 5.881	6.003 ± 1.649
	三甲胺	0.122 ± 0.212	-	-	-
	乙酰胺	0.065 ± 0.113	-	-	-
	含量	30.142 ± 19.577	21.994 ± 12.487	20.241 ± 4.821	11.165 ± 2.733

注：“-”表示未检出，肩标 a-b 表示具有显著性差异， $P < 0.05$ 。

2.7 熟制羊肉主体风味差异和线性判别分析结果

由图 1 可知,4 种羊肉均有独特的风味特征,可通过主成分进行区分。熟制羊肉的主成分和线性判别分析见图 3。熟制羊肉主体风味在 PC1 和 PC2 方向上的总方差贡献为 98.30%,高于 85%,而在 LD1 和 LD2 方向上的总方差贡献率为 76.29%,低于 85%,说明熟制羊肉亦各具风味特征,而不能通过主成分进行区分。熟制样品风味主成分差异表现在熟制市售羊肉和察哈尔羊肉在 PC1 和 PC2 方向上重合度较高。图 1 中,以察哈尔羊肉主体风味在 PC1 和 PC2 方向上的分布最广,市售和滩羊肉主体风味重合度较高,苏尼特羊肉主体风味分布在市售和滩羊肉主体风味重合区域。而在熟制样品中,察哈尔羊肉主成分分布范围明显缩小,且与市售羊肉有较多重合。生制苏尼特羊肉和滩羊肉主成分分布于察哈尔羊肉的主成分范围内,而熟制羊肉有明显变化,可通过主成分进行区分。即:滩羊肉熟制后也能通过风味物质的主成分分析区分其它内蒙古产羊肉。

2.8 熟制羊肉味觉特性

熟制羊肉滋味特征见表 7。市售羊肉、滩羊肉、苏尼特羊肉和察哈尔羊肉酸味值显著增加($P < 0.05$),而涩味回味值呈现明显降低的趋势($P < 0.05$)。滩羊肉苦味值最大($P < 0.05$),市售羊肉次之($P < 0.05$),苏尼特羊肉和察哈尔羊肉最小($P < 0.05$),且两者差异不显著($P > 0.05$)。市售羊肉和滩羊肉涩味值较大($P < 0.05$),两者之间没有显著差异($P > 0.05$),苏尼特羊肉和察哈尔羊肉涩味值较小($P < 0.05$),两者之间也没有显著差异($P > 0.05$)。样品苦味回味值与苦味值有明显差异,察哈尔羊肉苦味回味值最小($P < 0.05$),其它 3 种羊肉苦味回味值较高,且没有明显差异($P > 0.05$)。市售

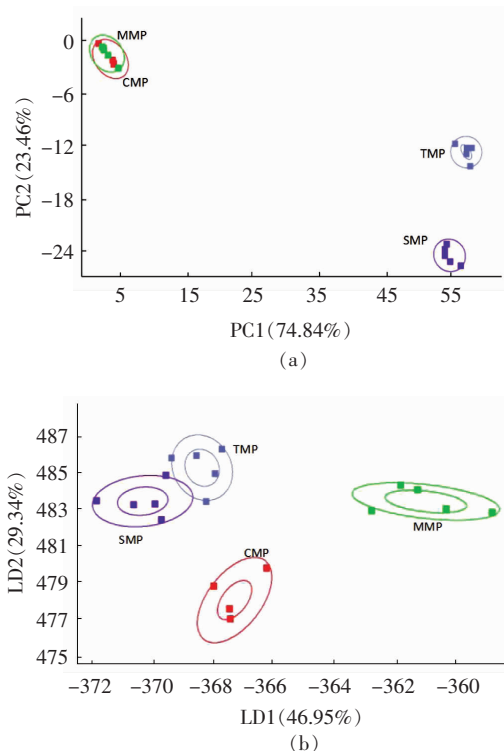


图 3 不同熟制羊肉样品的 PCA 分析(a)和 LDA 分析(b)

Fig.3 PCA (a) and LDA analysis (b) of different cooked mutton

羊肉鲜味值最大($P < 0.05$),滩羊肉位于中间水平,与其它样品有显著差异($P < 0.05$),苏尼特羊肉和察哈尔羊肉鲜味值最小($P < 0.05$)。

羊肉丰富度和咸味值较为相似,均为苏尼特羊肉数值最小($P < 0.05$),察哈尔羊肉较苏尼特羊肉明显较大($P < 0.05$),市售羊肉和滩羊肉的丰富度差异不显著($P > 0.05$),市售羊肉咸味值明显高于滩羊肉($P < 0.05$)。

滩羊肉苦味最为突出,市售羊肉具有较小的酸味,以及较大的涩味、涩味回味、苦味回味、丰富度、鲜味值和咸味值,味觉特征比较突出。苏尼特

羊肉具有较小的咸味、丰富度、鲜味、涩味和苦味；察哈尔羊肉酸味较大，苦味、涩味、苦味回味、涩味回味和鲜味均较小。

宁夏被称为甘草之乡，尤其是盐池、同心、灵武和中宁等地区，甘草分布更为广泛。使用甘草饲

养滩羊能增强羊肉的抗氧化能力^[9]，而滩羊可能因采食甘草等含有苦味物质的植物，导致该类物质在体内聚集或产生代谢产物，使得滩羊肉具有较明显的苦味特征。

表 7 不同熟制羊肉的味觉特性

Table 7 Taste characteristics of different cooked mutton

参数	羊肉样品组			
	TMP	MMP	SMP	CMP
酸味值	-39.14 ± 0.03 ^b	-39.52 ± 0.02 ^a	-34.67 ± 0.02 ^c	-33.37 ± 0.12 ^d
苦味值	51.56 ± 27.49 ^c	23.69 ± 0.83 ^b	-47.74 ± 1.69 ^a	-43.15 ± 0.08 ^a
涩味值	45.63 ± 15.13 ^b	42.21 ± 1.25 ^b	-48.99 ± 1.34 ^a	-43.35 ± 0.12 ^a
苦味回味值	78.51 ± 13.42 ^b	83.27 ± 11.34 ^b	48.53 ± 26.13 ^b	6.93 ± 0.04 ^a
涩味回味值	69.82 ± 7.71 ^c	100.13 ± 13.90 ^d	34.72 ± 1.57 ^b	8.46 ± 0.05 ^a
鲜味值	2.17 ± 0.13 ^b	2.55 ± 0.07 ^c	1.65 ± 0.09 ^a	1.63 ± 0.01 ^a
丰富度	-0.24 ± 0.04 ^c	-0.23 ± 0.01 ^c	-0.37 ± 0.00 ^a	-0.30 ± 0.01 ^b
咸味值	-5.21 ± 0.01 ^c	-3.39 ± 0.00 ^d	-6.26 ± 0.00 ^a	-5.87 ± 0.05 ^b

注：不同肩标字母表示具有显著性差异($P < 0.05$)。

3 结论

与内蒙古产羊肉相比，滩羊肉具有较低的蛋白质和粗脂肪含量，较高的水分含量和解冻损失，而在总氨基酸含量、非必需氨基酸和必需氨基酸含量以及脂肪酸组分方面与内蒙古产羊肉没有明显差异。滩羊肉在冷冻状态和解冻后亮度值、红度值和黄度值均较大。通过风味主成分和线性判别分析，能将滩羊肉及其熟制品与其它样品有效区分。醛类物质是羊肉风味的主要成分，尤其是滩羊肉含有较高含量的甲氧基-苯基-脲。熟制滩羊肉苦味值最大。

参 考 文 献

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国 2015 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2016-02-29)[2020-03-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201602/t20160229_1323991.html.
- [2] 国家统计局. 中华人民共和国 2016 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2017-02-28)[2020-03-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201702/t20170228_1467424.html.
- [3] 国家统计局. 中华人民共和国 2017 年国民经济和社

- 会发展统计公报[EB/OL]. (2018-02-28)[2020-03-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201802/t20180228_1585631.html.
- [4] 国家统计局. 中华人民共和国 2018 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2019-02-28)[2020-03-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.html.
- [5] 国家统计局. 中华人民共和国 2019 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2020-02-28)[2020-03-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202002/t20200228_1728913.html.
- [6] 袁琴琴, 刘文营. 非洲猪瘟及其防控措施[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 329-334, 345.
- [7] COOMBS C, HOLMAN B, PONNAMPALAM E, et al. Effects of chilled and frozen storage conditions on the lamb *M. longissimus lumborum* fatty acid and lipid oxidation parameters[J]. Meat Science, 2017, 136: 116-122.
- [8] 柴佳丽, 王振宇, 侯成立, 等. 不同品种羊肉熏制加工适宜性评价模型研究[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 75-80.
- [9] ZHANG Y W, LUO H L, LIU K, et al. Antioxidant effects of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis*) extract during aging of *longissimus thoracis* muscle in Tan sheep[J]. Meat Science, 2015, 105: 38-45.

- [10] 刘文营, 王守伟, 王俊钢, 等. 天然活性物质在肉及肉制品脂肪氧化调控中的应用研究进展[J]. 中国食品学报, 2019, 19(12): 293-303.
- [11] BRAND T S, VAN DER MERWE D A, HOFFMAN L C, et al. The effect of dietary energy content on quality characteristics of Boer goat meat[J]. *Meat Science*, 2018, 139: 74-81.
- [12] SABOW A B, SAZILI A Q, ZULKIFLI I, et al. A comparison of bleeding efficiency, microbiological quality and lipid oxidation in goats subjected to conscious halal slaughter and slaughter following minimal anesthesia[J]. *Meat Science*, 2015, 104: 78-84.
- [13] SCHUSTER L, FRANKE C, SILCOCK P, et al. Development of a novel sample reuse approach to measure the impact of lean meat, bone and adipose tissue on the development of volatiles in vacuum-packed chilled lamb stored at 2°C for 15 days[J]. *Meat Science*, 2018, 145: 31-39.
- [14] 刘文营, 王守伟. 羊肉生产及加工工艺对肉及肉制品品质的影响研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 304-311.
- [15] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品中水分的测定:GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品中脂肪的测定:GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [18] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品中脂肪酸的测定:GB 5009.168-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [19] 冯宪超, 周光宏. 快速冷冻工艺对牛肉品质和组织结构的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 1-7.
- [20] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 均匀色空间和色差公式: GB/T 7921-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [21] 李享, 李瑞丽, 刘文营, 等. 市售壹号土猪肉理化品质及其熟制品感官特性分析[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(1): 41-45.
- [22] YAO Y, PAN S, FAN G, et al. Evaluation of volatile profile of Sichuan dongcai, a traditional salted vegetable, by SPME-GC-MS and E-nose[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 64(2): 528-535.
- [23] 刘文营, 李享, 成晓瑜. 添加西兰花种子水提取物改善腊肉色泽和风味提高抗氧化性[J]. 农业工程学报, 2018, 34(21): 288-294.
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中氨基酸的测定: GB/T 5009.124-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [25] 施文正, 方林, 吴旭干, 等. 我国沿海主要海域雌性三疣梭子蟹呈味成分含量的比较[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 127-133.
- [26] 陈晓婷, 吴靖娜, 路海霞, 等. 基于电子鼻和电子舌优化蓝圆鲷调味基料的制备[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 282-289.
- [27] 刘文营, 高欣悦, 李享, 等. 几种地方猪猪肉及其腊肉制品的感官特性和理化品质分析[J]. 食品科学, 2019, 40(19): 52-59.
- [28] 李子欣, 尤丽琴, 罗瑞明, 等. 滩羊肉风味形成中重要蛋白质的解析[J]. 肉类研究, 2019, 33(5): 7-12.
- [29] 马琴琴, 李铁军, 何流琴, 等. 不同粗饲料组合对宁夏滩羊生长性能、屠宰性能及肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(6): 1936-1942.
- [30] 张俊丽, 马吉锋, 王建东. 滩湖 F1 代与滩羊产肉性能、羊肉品质对比研究[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(12): 110-112.
- [31] 周玉雷, 都帅, 刘昊, 等. 天然牧草干草和草颗粒对乌珠穆沁羔羊生产性能、屠宰性能和肉品质的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(3): 173-178.
- [32] 肖芳, 朱建军. 锡林郭勒草原牛羊肉主要营养成分分析[J]. 肉类工业, 2018(12): 17-20.
- [33] KARACA SERHAT, ERDOĞAN SIBEL, KOR DILEK, et al. Effects of pre-slaughter diet/management system and fasting period on physiological indicators and meat quality traits of lambs[J]. *Meat Science*, 2015, 116: 67-77.
- [34] ESTRADA -SOLÍS JOAQUÍN, FIGUEROA -RODRÍGUEZ KATIA A, FIGUEROA -SANDOVAL BENJAMÍN, et al. Microstructure and physical changes in the Mexican cooked lamb meat barbacoa made with chilled and frozen meat[J]. *Meat Science*, 2016, 118: 122-128.
- [35] CALNAN H, JACOB R H, PETHICK D W, et al. Production factors influence fresh lamb longissimus colour more than muscle traits such as myoglobin concentration and pH[J]. *Meat Science*, 2016, 119: 41-50.

- [36] PONNAMPALAM E N, PLOZZA T, KERR M G, et al. Interaction of diet and long ageing period on lipid oxidation and colour stability of lamb meat[J]. *Meat Science*, 2017, 129: 43–49.
- [37] 陶正清. 盐水鸭加工过程中滋味变化及呈味肽分离鉴定的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [38] SANTOS-SILVA JOSÉ, FRANCISCO ALEXANDRA, ALVES SUSANA P, et al. Effect of dietary neutral detergent fibre source on lambs growth, meat quality and biohydrogenation intermediates[J]. *Meat Science*, 2018, 147: 28–36.
- [39] FONTELES N L O, ALVES S P, MADRUGA M S, et al. Fatty acid composition of polar and neutral meat lipids of goats browsing in native pasture of brazilian semiarid[J]. *Meat Science*, 2018, 139: 149–156.
- [40] 李维红, 吴建平, 王欣荣. 滩羊脂肪中脂肪酸组成的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(4): 386–389.
- [41] 马丽娜, 马青. 滩羊与小尾寒羊不同部位羊肉脂肪酸组成的对比分析[J]. 畜牧与饲料科学, 2019, 40(4): 1–6.
- [42] 李昊, 葛翠翠, 冯帆, 等. 脂肪酸在育肥滩羊、小尾寒羊及滩寒杂交羊肌肉组织中的含量特征[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(3): 157–161.
- [43] 袁倩, 王柏辉, 苏琳, 等. 两种饲养方式对苏尼特羊肉脂肪酸组成和脂肪代谢相关基因表达的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 29–34.
- [44] 郑瑞生, 许爱萍, 任丽花, 等. 固相微萃取与气-质联用法分析鲍鱼烘烤前后挥发性成分的变化[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 252–257.
- [45] 卫强, 周莉莉. 小薊中挥发油成分的分析及其抑菌与止血作用的研究[J]. 华西药学杂志, 2016, 31(6): 604–610.
- [46] MOTTRAM D S. Flavor formation in meat and meat products: A review[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415–424.
- [47] 詹萍, 田洪磊, 李卫国, 等. 羊肉特征风味指纹图谱的构建[J]. 现代食品科技, 2013, 29(10): 2522–2527.

Quality Attribute and Difference Analysis of Ningxia Tan Mutton and Inner Mongolian Mutton

Liu Wenying, Zang Mingwu, Li Xiang, Zhang Shunliang, Wang Shouwei*

(China Meat Research Center, National Meat Processing Engineering Technology Research Center, Beijing Key Laboratory of Meat Processing Technology, Beijing Academy of Food Sciences, Beijing 100068)

Abstract In order to obtain the nutrition, the physical and chemical properties and sensory properties of Tan mutton, the longissimus protein, crude fat, moisture content, fatty acids, amino acids, free amino acid composition, thawing loss, the main flavor characteristics, color, volatile organic compounds, the main flavor and taste characteristics were analyzed, with the marketing Inner Mongolia mutton, Sunit and Chahar mutton as contrast. The results showed that, the highest protein and fatty acids content were found in Chahar mutton ($P<0.05$), while the lowest protein content was found in the marketing samples, the lowest fatty acids content was found in the marketing and Sunit samples. The Sunit and Chahar mutton shared the richest crude fat and the lowest water proportion, as the lowest crude fat and the highest water proportion were found in the marketing samples. The marketing and Sunit mutton had the highest essential amino acids content ($P<0.05$), and the ratio of essential amino acid to non-essential amino acid of Sunit mutton was the highest ($P<0.05$). The Cahar mutton with the lowest thawing loss ($P<0.05$), while the Sunit mutton with the highest loss. The color characteristics of samples were improved after thawing, and the Tan mutton with a higher lightness, yellowness and redness value. All samples had unique flavor characteristics and could be distinguished by the principal components of flavor substances for raw samples, while a similar flavor shared between the cooked marketing samples and Chahar mutton. Aldehydes were the main substances of mutton flavor, the volatile organic compounds of Tan mutton contained a higher content of methoxy - phenyl - oxime, and the cooked Tan samples had a strong bitter character. That was, a comprehensive analysis of nutritional attributes, physical and chemical properties and sensory characteristics could be carried out on mutton differentiation.

Keywords Tan mutton; Sunit mutton, Chahar mutton; main flavor; color; taste; nutrition