

## 焙烤对宁夏滩羊肉脂肪酸、氨基酸及核苷酸含量的影响

王永瑞<sup>1</sup>, 柏霜<sup>2</sup>, 罗瑞明<sup>2</sup>, 王松磊<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>宁夏大学动物科技学院 银川 750021

<sup>2</sup>宁夏大学食品科学与工程学院 银川 750021)

**摘要** 以宁夏盐池滩羊为研究对象,探究不同烤制时间对羊肉脂肪酸、氨基酸以及核苷酸含量的变化的影响。研究结果表明:烤制过程中,总蛋白质含量由 19.92% 上升到 40.51%,总脂肪含量由 3.51% 上升到 12.75%。总脂肪酸含量在烤制 0~8 min 增加,8~12 min 降低,12~20 min 再增加,差异不显著( $P>0.05$ )。在测出的 25 种脂肪酸中,油酸、硬脂酸和棕榈酸含量普遍较高,在 100 mg/100 g 以上。总水解氨基酸含量显著增加( $P<0.05$ ),由鲜羊肉中的 18.5 g/100 g 上升至 49.42 g/100 g,其中以赖氨酸、亮氨酸和半胱氨酸增加最为明显。游离氨基酸中精氨酸、丙氨酸以及半胱氨酸含量上升,而组氨酸含量下降,其它游离氨基酸含量变化不显著( $P>0.05$ )。滋味活度值(TAV)法确定了烤制滩羊肉中关键的鲜味氨基酸为谷氨酸,关键甜味氨基酸为丙氨酸,关键苦味氨基酸为蛋氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、精氨酸。烤制滩羊肉中的主要滋味物质 5'-腺苷酸和 5'-鸟苷酸的含量随着烤制时间的延长呈现上升趋势( $P>0.05$ )。PCA 分析表明滩羊肉中脂肪酸、水解氨基酸、游离氨基酸和核苷酸的含量在烤制过程中差异明显。

**关键词** 滩羊肉; 烤制; 脂肪酸; 水解氨基酸; 游离氨基酸; 核苷酸

文章编号 1009-7848(2023)11-0289-14 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.11.028

羊肉是人类肉类蛋白质的重要来源之一,也是世界上最受欢迎的肉类之一。我国人口众多且幅员辽阔,是羊肉生产和消费的大国。2022 年全年羊肉总产量羊肉产量 525 万 t,接近世界总产量的 1/3,并且依旧呈现增长的趋势<sup>[1]</sup>。滩羊是我国宁夏地区优势特色畜种,具有肉质鲜嫩、风味清新、营养丰富等特点,被誉为羊肉界的“劳斯莱斯”<sup>[2-3]</sup>。宁夏的盐池县有“中国滩羊之乡”的美名,而盐池滩羊也是国家地理标志保护产品之一<sup>[4]</sup>。近些年,宁夏滩羊曾先后登上“金砖国家领导人厦门会晤”“G20 杭州峰会”“上合组织青岛峰会”以及 2019 年达沃斯论坛等重要会议的国宴餐桌<sup>[5]</sup>。2021 年,宁夏滩羊饲养量 322.7 万只,羊肉产量 2.86 万 t,全产业链产值达 64.5 亿元<sup>[6]</sup>。

脂肪的含量和组成关系羊肉的营养价值,而且脂肪又是羊肉挥发性风味化合物的重要前体物质,对羊肉的风味起重要的作用<sup>[7]</sup>。烤制过程中的羊肉受到温度、氧气含量、水分活度等因素的影响,脂肪发生氧化裂解等反应,影响了羊肉的营养

价值和风味<sup>[8-9]</sup>。蛋白质是羊肉的主要营养成分之一,在内源蛋白酶的作用下发生降解产生多肽和游离氨基酸<sup>[10]</sup>。多肽和游离氨基酸不仅是羊肉挥发性风味化合物的前体物质,还具有丰富的滋味特性。其中,游离氨基酸在一定温度下参与美拉德反应,生成一系列含硫、含氮的挥发性化合物,影响羊肉风味的形成。此外,氨基酸普遍呈现一定的滋味特性,如酸、甜、鲜、咸、苦等,部分氨基酸具有 2 种或者 2 种以上的滋味特征<sup>[11]</sup>。Xie 等<sup>[12]</sup>的研究表明肌肉纤维蛋白的降解对肉质的硬度和弹性有重要影响。核苷酸是由核糖、碱基和磷酸组成,具有重要的生理功能。同时核苷酸也是肉制品的重要滋味物质,可为肉制品贡献一定的鲜味特性<sup>[13]</sup>。因此,有必要对滩羊肉烤制过程中脂肪酸、氨基酸及核苷酸含量变化规律进行研究。

本文采用气相色谱、全自动氨基酸分析仪以及高效液相色谱仪对烤制后滩羊肉脂肪酸、水解氨基酸、游离氨基酸和核苷酸的含量进行检测,结合 TAV 法筛选出烤制滩羊肉中的主要滋味物质。通过对滩羊肉烤制后脂肪酸、氨基酸以及呈味核苷酸含量的变化规律进行研究,为宁夏滩羊特色烤制类产品的开发提供理论依据。

收稿日期: 2023-02-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0400101)

第一作者: 王永瑞,男,博士生

通信作者: 王松磊 E-mail: wangsonglei163@162.com

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

9月龄体质量(30±1)kg的盐池公羊后腿购自于宁夏鑫海食品有限公司;氨基酸混标(含17种氨基酸),和光纯药工业株式会社;37种脂肪酸甲酯混合标准品,美国Sigma公司;5'-腺苷酸(5'-Adenylic acid, 5'-AMP)、5'-鸟苷酸(5'-Guanylic acid, 5'-GMP)、5'-肌苷酸(5'-Inosinic acid, 5'-IMP)、5'-胞苷酸(5'-Cytidylic acid, 5'-CMP),上海安谱实验科技股份有限公司;磷酸二氢钾、高氯酸、磺基水杨酸、苯酚、氢氧化钾、四丁基硫酸铵、甲醇、浓硫酸、正己烷、盐酸、柠檬酸钠、氢氧化钠、茚三酮等试剂购自于国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

岛津GC-2010 Pro气相色谱仪,日本Shimadzu公司;L-8900氨基酸分析仪,日本日立公司;1260高效液相色谱仪,美国Agilent公司;XW-80A旋涡混合仪,上海嘉鹏科技有限公司;TDL-5-4台式离心机,北京安亭科学仪器厂;WNB22型精密数显恒温水浴槽,上海树立仪器仪表有限公司;LT202E型电子天平,常熟市天量仪器有限公司;HX-4GM无菌均质器,上海沪析实业有限公司。

### 1.3 方法

1.3.1 样品的制备 洗去羊肉上的血渍及杂物并将羊肉切成2.0 cm×2.0 cm×1.5 cm的小块。以前后左右分别为3 cm间距放置在铺有锡箔纸的烤盘上。置入250℃下已预热的电烤箱中进行烤制。电烤箱上、下面火设置为250℃,分别烤制0,2,4,6,8,10,12,14,16,18 min和20 min。

1.3.2 总蛋白质的测定 参考国家标准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样品中总蛋白质的含量。

1.3.3 总脂肪的测定 参考国家标准GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》,采用索氏提取法测定样品总脂肪的含量。

#### 1.3.4 脂肪酸的测定

1.3.4.1 样品前处理 将烤羊肉样品于室温条件下剁碎。准确称取(1±0.01)g烤羊肉样品于16

mm×125 mm具塞试管中。每个试管加入0.7 mL 10 mol/L的KOH溶液和6.3 mL的甲醇后振荡5 s,置于55℃水浴锅内水解1.5 h,期间每间隔20 min用力用手晃动试管5 s。水解后使用自来水冷却至室温,再加入0.58 mL 12 mol/L的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>后振荡摇匀,同样置于55℃水浴锅中1.5 h,每间隔20 min用力晃动试管5 s。待完成后冰浴冷却。加入10 mL正己烷后涡旋5 min,在10 000 r/min下离心5 min。最后取上清液过0.22 μm滤膜至GC进样瓶中用于分析。

1.3.4.2 气相色谱条件 SP-2560型毛细管柱(100 m×0.25 mm,0.20 μm);程序升温:初始温度100℃,保持5 min,再以3℃/min速率升温至240℃,保持35 min;进样口温度250℃;载气He;分流比20:1;进样体积1.0 μL。

1.3.5 水解氨基酸的分析测定 参考国家标准GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,对烤羊肉进行处理并测定其氨基酸的含量。

氨基酸自动分析仪条件如下:磺酸型阳离子树脂分离柱;可见光检测器检测波长为570 nm和440 nm;20 μL进样量;(135±5)℃反应温度。

1.3.6 游离氨基酸的分析测定 准确称取烤羊肉肉末(0.50±0.01)g于50 mL离心管中,加入25 mL 0.1 mol/L HCl溶液进行超声浸提,浸提30 min。浸提完毕后充分涡旋,然后滤纸过滤。准确吸取2 mL滤液于50 mL离心管中,加入2 mL 8%磺基水杨酸,混匀后静置15 min。再将离心管10 000 r/min离心10 min,取下层水相过0.22 μm滤膜后转移至氨基酸进样瓶中用于后续分析。通过比较各氨基酸标准品的保留时间和峰面积,对各氨基酸进行定性和定量。氨基酸自动分析仪条件与水解氨基酸一样。

#### 1.3.7 呈味核苷酸的分析测定

1.3.7.1 样品前处理 称取烤羊肉肉末(0.50±0.01)g于50 mL离心管中,加入10.00 mL 5%高氯酸后超声处理20 min。然后将离心管于3 000 r/min条件下离心5 min。离心后过滤至50 mL离心管中,残渣继续添加10.00 mL 5%高氯酸超声处理,离心后合并上清液。用KOH溶液调pH值至6.5,用水定容至50.00 mL,混匀后过0.22 μm微孔

滤膜,然后上机测定。

1.3.7.2 液相色谱仪 AQ-C18 色谱柱 (4.6 mm×150 mm×5 μm), DAD 检测器;检测波长:254 nm;柱温:25 ℃;进样量:10 μL;流速:1.0 mL/min;流动相:磷酸盐缓冲液(1 000 mL)+甲醇(40 mL)混合溶液。磷酸盐缓冲液配制方法如下:将 1.36 g 磷酸二氢钾以及 0.4753 g 四丁基硫酸氢铵置于 900.00 mL 蒸馏水中溶解,用磷酸氢二钾溶液调 pH 值至 3.2,最后用蒸馏水定容到 1 000 mL。

1.3.8 烤羊肉滋味活度值分析 通过结合烤羊肉样品中滋味物质含量以及味觉阈值计算出能代表滋味贡献大小的滋味活度值(TAV)。TAV 值大于 1 表明该滋味物质对烤羊肉样品整体滋味具有重要影响,值越大,贡献越大。TAV 值小于 1 的滋味物质对烤羊肉样品整体滋味有一定的修饰作用<sup>[14]</sup>。TAV 计算公式如下:

$$TAV=C_i/M_i$$

式中, $C_i$ —— $i$  物质的含量,μg/kg; $M_i$ —— $i$  物质的嗅觉阈值,μg/kg; $TAV_i$ —— $i$  物质的滋味活性值。

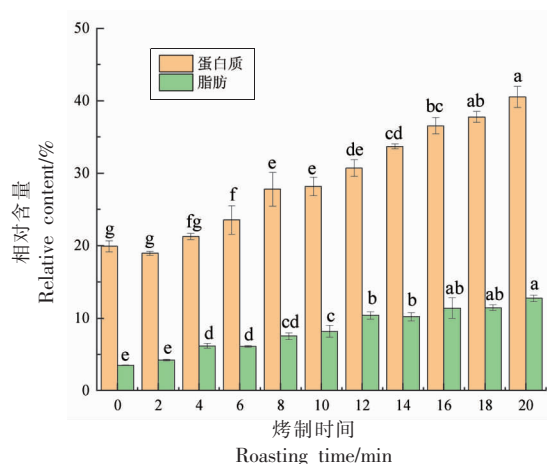
#### 1.4 数据分析

使用 IBM SPSS Statistics 23 for windows (SPSS Corp, Chicago, USA) 和 Microsoft Excel 2010 软件进行统计分析,PCA 分析及相关图片由 SIMCA 14.1 软件完成。采用 Origin 2018 以及 R 语言进行绘图。试验值均表示为平均值±标准偏差和  $P$  值( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 滩羊肉烤制过程中总蛋白质、总脂肪含量的变化

滩羊肉烤制过程中的总蛋白质和总脂肪含量的变化如图 1 所示。蛋白质在加热过程中参与美拉德和热降解反应,对肉制品的质量和风味有一定的贡献<sup>[15]</sup>。滩羊肉烤制 20 min 后,总蛋白质含量虽由 19.92% 上升到 40.51%,但不同烤制时间差异不显著( $P>0.05$ )。在整个烤制过程中,滩羊肉的蛋白质发生变性失去保水能力,水分的大量损失导致肉中蛋白质的比例升高<sup>[16]</sup>。脂肪是熟肉风味的主要前体物质,烤制过程中的脂质氧化反应有助于改变滩羊肉的风味。随着烤制时间的延长,脂肪



注:不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

图 1 滩羊肉烤制过程中总蛋白质和总脂肪含量变化  
Fig.1 Changes of fatty acid content in Tan mutton during roasting process

含量虽由 3.51% 上升到 12.75%,但差异不显著( $P>0.05$ ),可能是由于烤制过程中水分流失所致<sup>[17]</sup>。肉制品水煮处理过后的蛋白质和脂肪的含量低于烘烤处理过的样品,这可能与水的稀释效应有关<sup>[18]</sup>。

### 2.2 滩羊肉烤制过程中脂肪酸的组成及含量分析

滩羊肉烤制过程中脂肪酸的组成及含量如表 1 所示。在所有的样品中共检测出 25 种脂肪酸,包括 11 种饱和脂肪酸 (Saturated fatty acid, SFA), 7 种单不饱和脂肪酸 (Monounsaturated fatty acid, MUFA) 以及 7 种多不饱和脂肪酸 (Polyunsaturated fatty acids, PUFA)。滩羊肉脂肪酸总含量在烤制 0~8 min 过程中整体上升,烤制 8~12 min 明显降低,烤制 12~20 min 明显增加,但差异不显著( $P>0.05$ ),这主要与羊肉中水分变化、肌肉脂肪含量不均匀以及烤制过程中脂肪氧化裂解有关。其中 SFA 的含量占比在 34.34%~57.74% 之间,其中以棕榈酸和硬脂酸含量最高,含量都在 100 mg/100 g 以上,这与其它肉产品的研究结果相一致<sup>[19]</sup>。棕榈酸和硬脂酸与羊肉膻味相关的物质形成有关<sup>[20]</sup>。MUFA 的含量占比在 25.46%~52.35% 之间,其中以油酸含量最高。在植物油以及动物脂肪中,油酸的含量较高,可改善肉品风味。油酸被认为是脂质氧化反应中 2-庚烯醛、1-庚醇、2-辛烯醛、2-壬烯醛、1-辛醇、2-癸烯醛、1-壬醇等物质的

前体物质<sup>[21]</sup>。其它 MUFA 如顺-10-十七碳烯酸、反-9-十八碳烯酸、芥酸的含量也相对较高。在 PUFA 中主要以亚油酸(LA)和花生四烯酸(AA)为主,含量远高于其它 PUFA;按照种类来看,属于  $\omega$ -6 型 PUFA 有 3 种,为二十碳三烯酸、花生四烯酸以及亚油酸。 $\omega$ -3 型 PUFA 有 3 种,分别为  $\alpha$ -亚麻酸、顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸(EPA)和顺-4.7.10.13.16.19-二十二碳六烯酸(DHA)。 $\alpha$ -亚麻酸必须通过饮食摄取,在体内可进一步合成为 DHA、EPA 和 AA<sup>[22]</sup>。鱼油的整体相对营养价值常用  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 的值来评估,当比值为 1:1 时被认为是最佳营养比例<sup>[23]</sup>。烤制滩羊肉中的  $\omega$ -6 型 PUFA 远多于  $\omega$ -3 型,因此在食用烤滩羊肉时可搭配一些坚果、深海鱼、牛油果以及亚麻籽油等富含 DHA、EPA、亚麻酸等  $\omega$ -3 型 PUFA 的食物来平衡营养<sup>[24]</sup>。

脂肪酸是机体主要能量来源之一,然而过多的摄入饱和脂肪酸会引起身体内一些指标如三酰甘油、血胆固醇以及低密度脂蛋白胆固醇的上升。其中与冠心病有关的一个重要指标就是低密度脂蛋白胆固醇<sup>[25-26]</sup>,因而世界卫生组织(WHO)一直倡导在日常饮食中要减少饱和脂肪酸的摄入。在营养学上,PUFA/SFA 的比值常被用来评价肉的营养价值,比值越高代表肉营养价值越高,通常比值为 0.45 或更高时,肉具有较高的营养价值<sup>[27]</sup>。滩羊肉在烤制过程中 PUFA/SFA 的比值除烤制 16 min

时为 0.44 略低于 0.45 外,其余样品均大于 0.45,表明烤制过程中滩羊肉的营养价值较高。此外,研究发现肉中 SFA+MUFA 的含量越高,肉的嫩度、多汁性和风味越好,而 PUFA 含量过高则相反<sup>[28]</sup>。在不同烤制时间的滩羊肉样品中,SFA 以及 MUFA 的总含量均远大于 PUFA 的总含量。SFA+MUFA 的值主要是与加工程度有关,总体考虑 2 个因素,一方面是热加工过程带来的水分等蒸发引起的 SFA+MUFA 的值增加,一方面由于温度引起的 SFA、MUFA 的氧化裂解带来的 SFA+MUFA 的值降低<sup>[29]</sup>。

### 2.3 滩羊肉烤制过程中水解氨基酸的组成及含量分析

滩羊肉烤制过程中水解氨基酸的组成及含量如图 2 所示。随着烤制时间的延长,烤滩羊肉样品中总水解氨基酸含量由鲜羊肉中的 18.5 g/100 g 上升至 49.42 g/100 g ( $P < 0.05$ ),与总蛋白质含量的变化趋势一致。这主要是因为烤制过程中水分的减少导致了氨基酸含量的增加。先前研究中发现鲜肉中水分的含量达到了 70%以上,而在烤制 20 min 后,滩羊肉的水分含量将至为 55%左右<sup>[30]</sup>。谷氨酸、赖氨酸和天冬氨酸为新鲜滩羊肉中含量最高的 3 种氨基酸。烤制 20 min 后,赖氨酸、亮氨酸和半胱氨酸含量最高。烤制过程促进胱氨酸(咸、鲜)的快速生成,进而转化成具有质构改良作用的半胱氨酸,使得何肉肉质细韧不发散<sup>[24]</sup>。氨

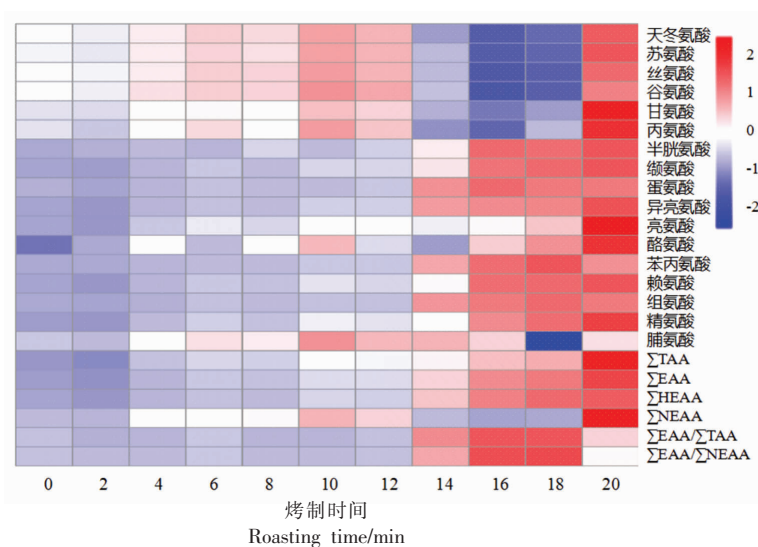


图 2 滩羊肉烤制过程中水解氨基酸含量热图

Fig.2 Heatmap of hydrolyzed amino acid content in Tan mutton during roasting process

氨酸是羊肉蛋白质营养价值的重要评价指标,FAO/WHO 提出理想蛋白质中必需氨基酸含量占总氨基酸含量的比值( $\sum \text{EAA}/\sum \text{TAA}$ )接近 0.4 左右,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值( $\sum \text{EAA}/\sum \text{NEAA}$ ) $>0.6$ <sup>[31]</sup>。所有烤羊肉样品的 $\sum \text{EAA}/\sum \text{NEAA}$ 值均大于 0.6,烤制 0~12 min 滩羊肉样品 $\sum \text{EAA}/\sum \text{TAA}$ 值在 0.38~0.39 之间,接近 0.4 左右。烤制 14~20 min 的滩羊肉样品 $\sum \text{EAA}/\sum \text{TAA}$ 值在 0.47~0.56 之间,相对于理想蛋白质的标准较高,这表明烤制 12 min 为烤羊肉样品蛋白质营养价值的转折点,与课题组先前研究的烤制滩羊肉风味最佳的时间一致<sup>[30]</sup>。

#### 2.4 滩羊肉烤制过程中游离氨基酸的组成及含量分析

游离氨基酸是指在肉中处于游离状态的未参与细胞结构的氨基酸,可赋予肉制品良好的滋味品质<sup>[32]</sup>。在不同烤制时间的滩羊肉中共检测出 13 种游离氨基酸,分别为谷氨酸、亮氨酸、苏氨酸、精氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、丝氨酸、组氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸(表 2)。在新鲜滩羊肉中含量最高的氨基酸为谷氨酸,这与水解氨基酸结果一致。作为酸性氨基酸,谷氨酸不仅参与动物体内许多重要的化学反应,还是重要的风味氨基酸,对热加工肉制品的气味和滋味具有重要价值<sup>[33]</sup>。滩羊肉烤制 20 min 时丙氨酸的含量最高,达到了 300 mg/100 g 以上。在烤制过程中,游离的精氨酸、丙氨酸以及半胱氨酸含量呈现上升趋势,而组氨酸含量呈现下降趋势,在烤制 18 min 以及 20 min 时未检测出。其它水解氨基酸的变化规律不明显。这可能是由于在烤制加热过程中羊肉水分减少导致精氨酸、丙氨酸以及半胱氨酸等游离氨基酸浓度增大,而部分游离氨基酸如组氨酸参与美拉德反应,进而含量降低<sup>[34]</sup>。

TAV 值大于 1 可认为对肉品的味道有重要贡献<sup>[35]</sup>,因此根据表 2 分别计算出各游离氨基酸的 TAV,并选取 TAV 大于 1 的游离氨基酸,如表 3 所示。对于烤滩羊肉,谷氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、丙氨酸、缬氨酸等游离氨基酸在每一个样品中都有 TAV 值大于 1,表明烤制过程对虽主要呈味氨基酸(TAV $>1$ )的种类没有影响,但对其含量的变化具有较大影响。在主要呈味氨基酸中,谷

氨酸为鲜味氨基酸<sup>[36]</sup>,从表 3 可看出,滩羊肉在烤制过程中谷氨酸的 TAV 值最高,每个样品中的 TAV 值均在 20 以上,说明谷氨酸是烤羊肉样品中鲜味的主要来源。此外,精氨酸、蛋氨酸、缬氨酸和苯丙氨酸皆为苦味氨基酸,丙氨酸兼具甜味和苦味<sup>[13,34-35]</sup>。丙氨酸可以用作增味剂和酸味矫正剂<sup>[34]</sup>;有学者认为,苦味对产品有利有弊,适当的苦味是有利的,过重则损害产品质量<sup>[36]</sup>。烤制 20 min 滩羊肉样品中精氨酸、蛋氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸的 TAV 值分别为 6.63,2.88,1.67,1.25,与鲜肉相比,除精氨酸明显升高外,缬氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸均略有降低。综上所述,烤制过程对滩羊肉主要鲜味成分谷氨酸的含量变化具有较大影响。

#### 2.5 羊肉烤制过程中核苷酸的组成及含量分析

核苷酸具有重要的生理功能,同时也是肉制品的重要滋味物质<sup>[34]</sup>。呈味核苷酸与 L-谷氨酸的协同能显著提升肉制品的鲜味,是肉制品热加工过程中提升肉品鲜味的重要途径。5'-GMP 和 5'-IMP 一般按照 1:1 质量比的比例混合使用,其添加至谷氨酸含量的 5% 以上就能显著提升食品的鲜味<sup>[37]</sup>。在肉制品加工中,ATP 酶将 ATP 转化为 ADP,ADP 通过磷酸激酶催化降解形成 AMP,再经过脱氢形成 IMP,一部分的 IMP 在磷酸激酶的催化下形成肌苷(Inosine, I),进一步水解形成次黄嘌呤(Hypoxanthine, HX)<sup>[38]</sup>。

滩羊肉烤制过程中核苷酸的含量及 TAV 值如表 4 和表 5 所示。由表可知滩羊肉中的 5'-GMP、5'-AMP 随着烤制时间的增加呈上升趋势,这可能是由于羊肉经过热加工后,水分蒸发导致核苷酸含量上升。烤制后 5'-IMP 含量虽显著高于鲜肉,但变化不显著( $P>0.05$ )。核苷酸 5'-IMP 和 5'-GMP 的 TAV 值分别在烤制 4 min 和 8 min 后大于 1,是烤羊肉最关键的滋味特征物质。

#### 2.6 羊肉烤制过程中脂肪酸、游离氨基酸以及核苷酸的 PCA 分析

PCA 是一种多元统计分析方法,它利用多元线性变换选择几个显著变量,通常用于分析观测变量之间的关系<sup>[39]</sup>。利用 SIMCA 14.0 软件对滩羊肉烤制过程中脂肪酸、水解氨基酸、游离氨基酸以及核苷酸数据进行主成分分析。一般情况下,当 PC1 和 PC2 的累计贡献率达到 60% 以上时,选择

表1 滩羊肉烤制过程中脂肪酸含量(mg/100 g)  
Table 1 Fatty acid content in Tan mutton during roasting process (mg/100 g)

脂肪酸	烤制时间/min										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
SFA	314.25 ± 80.93 <sup>d</sup>	386.65 ± 4.95 <sup>cd</sup>	577.93 ± 135.71 <sup>b</sup>	530.69 ± 105.33 <sup>bc</sup>	766.19 ± 50.22 <sup>a</sup>	517.79 ± 33.87 <sup>bc</sup>	363.65 ± 22.87 <sup>cd</sup>	360.76 ± 10.25 <sup>cd</sup>	625.85 ± 43.26 <sup>bc</sup>	625.12 ± 142.48 <sup>bc</sup>	768.33 ± 31.65 <sup>a</sup>
丁酸 C4:0	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.80 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.85 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.39 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.78 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.85 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
癸酸 C10:0	1.17 ± 0.41 <sup>c</sup>	1.59 ± 0.27 <sup>abc</sup>	2.04 ± 0.67 <sup>abc</sup>	1.79 ± 0.55 <sup>abc</sup>	2.56 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.77 ± 0.19 <sup>abc</sup>	1.39 ± 0.30 <sup>bc</sup>	1.25 ± 0.07 <sup>c</sup>	2.40 ± 0.22 <sup>ab</sup>	2.09 ± 0.78 <sup>abc</sup>	2.52 ± 0.02 <sup>a</sup>
十一碳酸 C11:0	0.23 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.27 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.26 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.28 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.28 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.29 ± 0.00 <sup>b</sup>
月桂酸 C12:0	0.97 ± 0.12 <sup>d</sup>	1.11 ± 0.11 <sup>cd</sup>	1.55 ± 0.31 <sup>abc</sup>	1.27 ± 0.22 <sup>cd</sup>	1.93 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.34 ± 0.11 <sup>bcd</sup>	1.08 ± 0.04 <sup>cd</sup>	1.02 ± 0.06 <sup>d</sup>	1.54 ± 0.04 <sup>abc</sup>	1.59 ± 0.53 <sup>abc</sup>	1.82 ± 0.15 <sup>ab</sup>
十三碳酸 C13:0	0.36 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.39 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.47 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.41 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.54 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.11 <sup>ab</sup>	0.39 ± 0.10 <sup>ab</sup>	0.37 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.46 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.48 ± 0.11 <sup>ab</sup>	0.51 ± 0.02 <sup>ab</sup>
肉豆蔻酸 C14:0	14.47 ± 4.31 <sup>e</sup>	20.10 ± 3.21 <sup>cde</sup>	29.27 ± 8.33 <sup>abc</sup>	24.68 ± 7.30 <sup>bcd</sup>	38.16 ± 1.58 <sup>b</sup>	23.96 ± 0.79 <sup>bcd</sup>	18.55 ± 1.54 <sup>bc</sup>	16.48 ± 0.47 <sup>bc</sup>	32.19 ± 2.73 <sup>ab</sup>	29.92 ± 2.91 <sup>ab</sup>	38.03 ± 1.90 <sup>b</sup>
十五碳酸 C15:0	3.86 ± 0.75 <sup>g</sup>	4.74 ± 0.58 <sup>efg</sup>	7.73 ± 0.62 <sup>cd</sup>	6.22 ± 1.53 <sup>def</sup>	10.47 ± 0.21 <sup>e</sup>	6.46 ± 1.57 <sup>abc</sup>	4.73 ± 0.39 <sup>efg</sup>	4.30 ± 0.57 <sup>fg</sup>	7.84 ± 0.37 <sup>cd</sup>	8.29 ± 0.76 <sup>bc</sup>	10.00 ± 0.54 <sup>ab</sup>
棕榈酸 C16:0	168.92 ± 44.92 <sup>f</sup>	207.9 ± 0.98 <sup>def</sup>	300.36 ± 71.05 <sup>bcd</sup>	281.14 ± 57.56 <sup>cde</sup>	395.74 ± 32.94 <sup>abc</sup>	275.67 ± 15.74 <sup>abc</sup>	190.76 ± 10.86 <sup>cd</sup>	189.79 ± 3.30 <sup>cd</sup>	331.85 ± 29.11 <sup>abc</sup>	323.09 ± 86.76 <sup>abc</sup>	411.34 ± 13.13 <sup>a</sup>
十七碳酸 C17:0	16.83 ± 4.49 <sup>d</sup>	19.80 ± 0.33 <sup>cd</sup>	33.12 ± 9.21 <sup>abc</sup>	28.16 ± 6.58 <sup>bcd</sup>	46.09 ± 0.42 <sup>a</sup>	28.72 ± 0.84 <sup>bcd</sup>	20.21 ± 1.29 <sup>cd</sup>	19.00 ± 1.71 <sup>d</sup>	34.98 ± 1.84 <sup>abc</sup>	36.82 ± 2.29 <sup>abc</sup>	43.46 ± 1.98 <sup>a</sup>
硬脂酸 C18:0	106.58 ± 25.83 <sup>e</sup>	129.11 ± 10.28 <sup>de</sup>	201.02 ± 45.26 <sup>bc</sup>	185.16 ± 31.43 <sup>cd</sup>	268.75 ± 16.31 <sup>a</sup>	177.95 ± 13.93 <sup>cd</sup>	124.94 ± 6.77 <sup>bc</sup>	126.54 ± 4.18 <sup>bc</sup>	212.21 ± 8.95 <sup>abc</sup>	221.16 ± 59.96 <sup>abc</sup>	258.87 ± 13.84 <sup>ab</sup>
花生酸 C20:0	0.86 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.89 ± 0.10 <sup>bc</sup>	1.25 ± 0.13 <sup>abc</sup>	1.16 ± 0.08 <sup>abc</sup>	1.65 ± 0.10 <sup>b</sup>	1.24 ± 0.54 <sup>abc</sup>	0.97 ± 0.40 <sup>bc</sup>	0.99 ± 0.02 <sup>bc</sup>	1.25 ± 0.01 <sup>abc</sup>	1.40 ± 0.27 <sup>abc</sup>	1.49 ± 0.11 <sup>ab</sup>
MUFA	479.04 ± 87.36 <sup>bc</sup>	538.79 ± 11.97 <sup>b</sup>	266.64 ± 25.58 <sup>e</sup>	488.42 ± 16.46 <sup>b</sup>	732.34 ± 13.54 <sup>a</sup>	381.46 ± 39.54 <sup>cd</sup>	509.12 ± 33.00 <sup>b</sup>	535.03 ± 39.13 <sup>b</sup>	275.9 ± 17.98 <sup>e</sup>	559.33 ± 59.57 <sup>b</sup>	379.50 ± 24.71 <sup>d</sup>
肉豆蔻烯酸 C14:1	0.94 ± 0.09 <sup>f</sup>	1.06 ± 0.08 <sup>def</sup>	1.53 ± 0.32 <sup>c</sup>	1.36 ± 0.23 <sup>cde</sup>	2.04 ± 0.15 <sup>ab</sup>	1.44 ± 0.04 <sup>cd</sup>	1.05 ± 0.05 <sup>def</sup>	1.01 ± 0.12 <sup>cd</sup>	1.60 ± 0.12 <sup>c</sup>	1.64 ± 0.20 <sup>bc</sup>	2.26 ± 0.21 <sup>a</sup>
棕榈油酸 C16:1	16.42 ± 3.23 <sup>f</sup>	18.67 ± 0.61 <sup>def</sup>	30.27 ± 7.34 <sup>cd</sup>	27.66 ± 5.48 <sup>cdef</sup>	43.27 ± 5.37 <sup>ab</sup>	29.17 ± 0.38 <sup>cd</sup>	18.08 ± 0.71 <sup>cd</sup>	17.94 ± 1.97 <sup>cd</sup>	32.83 ± 3.73 <sup>bc</sup>	33.84 ± 9.72 <sup>bc</sup>	47.43 ± 4.04 <sup>a</sup>

(续表 1)

脂肪酸	烤制时间/min										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
顺-10-十七碳烯酸 C17:1	20.93 ± 2.57 <sup>l</sup>	21.86 ± 2.05 <sup>d</sup>	37.66 ± 7.67 <sup>bc</sup>	35.52 ± 3.32 <sup>v</sup>	54.31 ± 1.09 <sup>a</sup>	37.94 ± 1.78 <sup>bc</sup>	21.84 ± 2.93 <sup>l</sup>	23.52 ± 3.62 <sup>d</sup>	37.69 ± 2.49 <sup>bc</sup>	45.38 ± 2.32 <sup>b</sup>	57.82 ± 3.82 <sup>a</sup>
反-9-十八碳烯酸 C18:1n9t	52.85 ± 2.48 <sup>l</sup>	63.80 ± 5.00 <sup>d</sup>	98.29 ± 2.57 <sup>bc</sup>	90.56 ± 5.01 <sup>c</sup>	130.02 ± 7.54 <sup>a</sup>	86.03 ± 8.30 <sup>c</sup>	61.61 ± 3.53 <sup>d</sup>	63.02 ± 1.98 <sup>d</sup>	103.58 ± 4.12 <sup>b</sup>	106.95 ± 4.75 <sup>b</sup>	123.49 ± 5.98 <sup>a</sup>
油酸 C18:1n9c	349.84 ± 83.36 <sup>abc</sup>	392.83 ± 9.78 <sup>a</sup>	44.58 ± 11.63 <sup>c</sup>	265.85 ± 11.12 <sup>c</sup>	420.28 ± 35.28 <sup>a</sup>	156.45 ± 10.95 <sup>l</sup>	373.39 ± 24.58 <sup>ab</sup>	383.06 ± 27.79 <sup>a</sup>	45.56 ± 3.57 <sup>e</sup>	295.81 ± 61.00 <sup>bc</sup>	56.38 ± 7.18 <sup>e</sup>
顺-8-二十碳烯酸 C20:1	1.11 ± 0.31 <sup>c</sup>	1.18 ± 0.07 <sup>c</sup>	1.70 ± 0.28 <sup>abc</sup>	1.73 ± 0.03 <sup>abc</sup>	2.52 ± 0.36 <sup>ab</sup>	1.87 ± 1.20 <sup>bc</sup>	1.25 ± 0.75 <sup>c</sup>	1.29 ± 0.07 <sup>bc</sup>	1.83 ± 0.32 <sup>abc</sup>	2.01 ± 0.20 <sup>abc</sup>	2.71 ± 0.09 <sup>a</sup>
芥酸 C22:1n9	36.95 ± 0.28 <sup>bc</sup>	39.39 ± 4.24 <sup>bc</sup>	52.60 ± 0.90 <sup>cd</sup>	65.74 ± 8.72 <sup>bc</sup>	79.90 ± 9.41 <sup>ab</sup>	68.56 ± 16.88 <sup>bc</sup>	31.9 ± 2.06 <sup>c</sup>	45.2 ± 3.59 <sup>bc</sup>	52.81 ± 3.64 <sup>cd</sup>	73.69 ± 4.48 <sup>ab</sup>	89.41 ± 3.40 <sup>a</sup>
PUFA	121.75 ± 3.38 <sup>c</sup>	131.59 ± 24.01 <sup>e</sup>	186.13 ± 17.12 <sup>d</sup>	206.34 ± 15.67 <sup>cd</sup>	273.12 ± 16.49 <sup>ab</sup>	213.75 ± 22.35 <sup>cd</sup>	112.72 ± 3.39 <sup>c</sup>	145.23 ± 12.36 <sup>c</sup>	181.97 ± 5.32 <sup>d</sup>	241.47 ± 3.28 <sup>bc</sup>	283.05 ± 14.92 <sup>a</sup>
亚油酸 C18:2n6c	77.68 ± 2.78 <sup>c</sup>	84.71 ± 20.42 <sup>c</sup>	123.63 ± 15.19 <sup>d</sup>	129.43 ± 7.27 <sup>d</sup>	179.11 ± 5.61 <sup>a</sup>	133.61 ± 2.20 <sup>cd</sup>	74.11 ± 3.64 <sup>c</sup>	92.12 ± 8.38 <sup>c</sup>	118.32 ± 0.54 <sup>d</sup>	155.31 ± 8.31 <sup>bc</sup>	178.7 ± 11.79 <sup>ab</sup>
α-亚麻酸 C18:3n3	2.73 ± 0.03 <sup>f</sup>	2.87 ± 0.08 <sup>cd</sup>	4.20 ± 0.54 <sup>cd</sup>	3.60 ± 0.25 <sup>bc</sup>	5.76 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.87 ± 0.78 <sup>d</sup>	2.60 ± 0.17 <sup>f</sup>	2.85 ± 0.30 <sup>cd</sup>	4.18 ± 0.14 <sup>cd</sup>	4.81 ± 0.08 <sup>bc</sup>	5.33 ± 0.34 <sup>ab</sup>
顺-11,14-二十碳二烯酸 C20:2	0.94 ± 0.03 <sup>bc</sup>	0.75 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.34 ± 0.11 <sup>bcd</sup>	1.43 ± 0.13 <sup>bc</sup>	1.95 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.60 ± 0.45 <sup>ab</sup>	0.92 ± 0.35 <sup>bc</sup>	1.09 ± 0.10 <sup>abc</sup>	1.43 ± 0.17 <sup>bc</sup>	1.73 ± 0.13 <sup>ab</sup>	2.08 ± 0.03 <sup>a</sup>
顺-8,11,14-二十碳三烯酸 C20:3n6	2.30 ± 0.11 <sup>bc</sup>	2.55 ± 0.92 <sup>bc</sup>	3.25 ± 0.18 <sup>abc</sup>	4.19 ± 0.31 <sup>abc</sup>	4.88 ± 0.67 <sup>ab</sup>	4.30 ± 2.94 <sup>abc</sup>	2.14 ± 0.88 <sup>c</sup>	2.90 ± 0.11 <sup>bc</sup>	3.55 ± 0.36 <sup>abc</sup>	4.52 ± 0.27 <sup>abc</sup>	5.58 ± 0.10 <sup>a</sup>
花生四烯酸 C20:4n6	35.83 ± 0.25 <sup>bc</sup>	38.05 ± 1.95 <sup>bc</sup>	50.87 ± 1.01 <sup>cd</sup>	63.61 ± 8.31 <sup>bc</sup>	77.55 ± 9.16 <sup>ab</sup>	66.14 ± 15.30 <sup>bc</sup>	30.7 ± 1.08 <sup>c</sup>	43.62 ± 3.74 <sup>bc</sup>	51.01 ± 3.46 <sup>cd</sup>	71.29 ± 4.37 <sup>ab</sup>	86.4 ± 3.39 <sup>a</sup>
顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸 C20:5n3	1.14 ± 0.15 <sup>b</sup>	1.40 ± 0.37 <sup>ab</sup>	1.44 ± 0.06 <sup>ab</sup>	2.24 ± 0.14 <sup>ab</sup>	1.99 ± 0.52 <sup>ab</sup>	2.30 ± 0.37 <sup>ab</sup>	1.12 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.31 ± 0.21 <sup>ab</sup>	1.89 ± 0.46 <sup>ab</sup>	1.95 ± 0.41 <sup>ab</sup>	2.68 ± 0.49 <sup>a</sup>
顺-4,7,10,13,16,19-二十碳六烯酸 C22:6n3	1.14 ± 0.02 <sup>l</sup>	1.26 ± 0.30 <sup>d</sup>	1.40 ± 0.02 <sup>cd</sup>	1.84 ± 0.04 <sup>abc</sup>	1.87 ± 0.37 <sup>abc</sup>	1.93 ± 0.21 <sup>ab</sup>	1.12 ± 0.28 <sup>d</sup>	1.34 ± 0.06 <sup>d</sup>	1.59 ± 0.18 <sup>bcd</sup>	1.86 ± 0.19 <sup>abc</sup>	2.28 ± 0.04 <sup>b</sup>
ΣFA	915.04 ± 171.66 <sup>d</sup>	1057.03 ± 40.93 <sup>cd</sup>	1030.70 ± 178.41 <sup>cd</sup>	1225.45 ± 137.46 <sup>cd</sup>	1771.65 ± 80.25 <sup>bc</sup>	1113.00 ± 95.76 <sup>a</sup>	985.49 ± 59.26 <sup>cd</sup>	1041.02 ± 61.74 <sup>cd</sup>	1083.65 ± 66.5 <sup>cd</sup>	1425.92 ± 205.33 <sup>b</sup>	1430.88 ± 71.28 <sup>b</sup>
SFA/UFA	0.52	0.58	1.27	0.76	0.76	0.87	0.59	0.53	1.37	0.78	1.16
PUFA/SFA	1.54	1.39	0.47	0.94	0.96	0.74	1.41	1.48	0.44	0.91	0.49
ω-3/ω-6	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04

注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

表2 滩羊肉烤制过程中游离氨基酸的含量(mg/100 g)  
Table 2 Free amino acids content in Tan mutton during roasting process (mg/100 g)

氨基酸	味觉阈值	烤制时间/min																		
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20								
天冬氨酸	0.100	6.568 ± 0.00 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
谷氨酸	0.030	147.38 ± 9.05 <sup>cd</sup>	159.82 ± 7.38 <sup>abcd</sup>	147.06 ± 1.63 <sup>d</sup>	153.12 ± 9.70 <sup>bcd</sup>	147.70 ± 1.56 <sup>cd</sup>	152.17 ± 4.01 <sup>bcd</sup>	159.50 ± 9.12 <sup>abcd</sup>	170.34 ± 9.95 <sup>ab</sup>	164.92 ± 12.57 <sup>abcd</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>	173.53 ± 6.67 <sup>a</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>	166.84 ± 5.63 <sup>bc</sup>
丝氨酸	0.150	23.28 ± 1.15 <sup>a</sup>	20.51 ± 1.38 <sup>c</sup>	16.96 ± 0.00 <sup>bc</sup>	22.13 ± 1.24 <sup>a</sup>	20.69 ± 0.86 <sup>ab</sup>	11.79 ± 2.05 <sup>d</sup>	10.83 ± 2.71 <sup>d</sup>	10.06 ± 1.63 <sup>d</sup>	11.79 ± 1.15 <sup>d</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>	13.51 ± 2.30 <sup>cd</sup>
组氨酸	0.020	105.82 ± 4.56 <sup>a</sup>	65.32 ± 5.52 <sup>b</sup>	64.86 ± 0.65 <sup>b</sup>	75.44 ± 1.72 <sup>b</sup>	42.77 ± 13.64 <sup>cd</sup>	47.37 ± 1.13 <sup>c</sup>	38.40 ± 2.07 <sup>cd</sup>	31.26 ± 5.67 <sup>de</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>	28.04 ± 4.14 <sup>e</sup>
甘氨酸	0.130	8.108 ± 0.00 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
苏氨酸	0.260	32.54 ± 0.67 <sup>ab</sup>	31.19 ± 1.34 <sup>bc</sup>	33.44 ± 1.59 <sup>d</sup>	41.73 ± 1.77 <sup>c</sup>	24.70 ± 0.32 <sup>e</sup>	28.73 ± 1.93 <sup>cd</sup>	21.11 ± 2.02 <sup>e</sup>	16.40 ± 0.67 <sup>b</sup>	15.73 ± 0.67 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>	57.42 ± 3.84 <sup>b</sup>
精氨酸	0.050	89.44 ± 3.40 <sup>f</sup>	68.41 ± 6.10 <sup>e</sup>	100.92 ± 1.35 <sup>cd</sup>	113.98 ± 7.70 <sup>bc</sup>	92.31 ± 1.35 <sup>f</sup>	120.36 ± 1.63 <sup>cd</sup>	128.33 ± 9.82 <sup>cd</sup>	168.73 ± 2.25 <sup>g</sup>	132.79 ± 1.19 <sup>e</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>	267.28 ± 2.82 <sup>b</sup>
丙氨酸	0.060	114.50 ± 4.81 <sup>cd</sup>	79.06 ± 5.04 <sup>f</sup>	108.01 ± 0.00 <sup>f</sup>	109.28 ± 5.16 <sup>ef</sup>	93.62 ± 1.25 <sup>g</sup>	120.35 ± 1.69 <sup>bc</sup>	162.75 ± 8.60 <sup>c</sup>	78.90 ± 1.36 <sup>f</sup>	132.06 ± 0.59 <sup>d</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>	253.24 ± 3.70 <sup>b</sup>
酪氨酸	0.091	62.275 ± 0.00 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
半胱氨酸	0.024	79.26 ± 1.27 <sup>g</sup>	77.83 ± 2.15 <sup>g</sup>	89.66 ± 0.76 <sup>f</sup>	98.79 ± 4.23 <sup>bc</sup>	93.42 ± 0.44 <sup>ef</sup>	101.66 ± 0.91 <sup>cd</sup>	107.93 ± 4.99 <sup>bc</sup>	69.59 ± 4.89 <sup>b</sup>	109.90 ± 0.51 <sup>b</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>	190.17 ± 2.19 <sup>a</sup>
缬氨酸	0.040	84.58 ± 0.95 <sup>a</sup>	80.30 ± 0.56 <sup>b</sup>	81.60 ± 0.263 <sup>b</sup>	65.49 ± 1.49 <sup>d</sup>	70.13 ± 2.35 <sup>c</sup>	74.71 ± 7.26 <sup>bc</sup>	83.65 ± 2.24 <sup>ab</sup>	60.74 ± 7.82 <sup>e</sup>	63.53 ± 2.24 <sup>bc</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>	70.52 ± 1.40 <sup>f</sup>
蛋氨酸	0.030	89.41 ± 7.66 <sup>b</sup>	105.69 ± 0.80 <sup>a</sup>	103.55 ± 0.76 <sup>a</sup>	79.66 ± 0.40 <sup>c</sup>	108.89 ± 0.65 <sup>a</sup>	103.68 ± 7.61 <sup>a</sup>	102.88 ± 0.40 <sup>a</sup>	90.17 ± 3.91 <sup>b</sup>	65.65 ± 5.61 <sup>d</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>	104.09 ± 0.80 <sup>a</sup>
苯丙氨酸	0.090	135.18 ± 0.93 <sup>cd</sup>	127.77 ± 1.85 <sup>d</sup>	168.51 ± 2.62 <sup>a</sup>	157.40 ± 0.93 <sup>ab</sup>	140.12 ± 1.57 <sup>e</sup>	146.60 ± 11.87 <sup>bc</sup>	137.03 ± 4.63 <sup>cd</sup>	99.06 ± 4.63 <sup>f</sup>	143.05 ± 0.46 <sup>e</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>	137.34 ± 6.98 <sup>cd</sup>
异亮氨酸	0.090	53.118 ± 0.00 <sup>d</sup>	53.123 ± 0.00 <sup>d</sup>	99.21 ± 0.69 <sup>b</sup>	-	-	91.69 ± 0.73 <sup>c</sup>	-	-	-	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>	100.06 ± 0.36 <sup>b</sup>
亮氨酸	0.190	98.35 ± 2.12 <sup>c</sup>	103.64 ± 2.07 <sup>bc</sup>	106.04 ± 1.70 <sup>b</sup>	98.11 ± 2.23 <sup>c</sup>	115.66 ± 3.12 <sup>a</sup>	98.35 ± 1.44 <sup>c</sup>	97.99 ± 1.80 <sup>c</sup>	102.92 ± 0.90 <sup>bc</sup>	104.12 ± 1.02 <sup>bc</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>	97.62 ± 5.14 <sup>c</sup>
赖氨酸	0.050	122.89 ± 5.97 <sup>a</sup>	-	116.49 ± 0.52 <sup>b</sup>	83.20 ± 0.00 <sup>d</sup>	113.20 ± 1.81 <sup>c</sup>	112.01 ± 0.27 <sup>c</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05);“-”表示未检出。



表 3 滩羊肉烤制过程中游离氨基酸 TAV 值分析

Table 3 Analysis of TAV value of free amino acids in Tan mutton during roasting process

氨基酸	滋味特性	烤制时间/min										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
谷氨酸	鲜味	29.48	31.96	29.41	30.62	29.54	30.43	31.90	34.07	32.98	34.71	33.37
精氨酸	苦味	1.79	1.37	2.02	2.28	1.85	2.41	2.57	3.37	2.66	5.35	6.63
丙氨酸	甜味	1.91	1.32	1.80	1.82	1.56	2.01	2.71	1.32	2.20	4.22	5.61
缬氨酸	苦味	2.11	2.01	2.04	1.64	1.75	1.87	2.09	1.52	1.59	1.76	1.67
蛋氨酸	苦味	2.98	3.52	3.45	2.66	3.63	3.46	3.43	3.01	2.19	3.47	2.88
苯丙氨酸	苦味	1.50	1.42	1.87	1.75	1.56	1.63	1.52	1.10	1.59	1.53	1.25

表 4 滩羊肉烤制过程中核苷酸的含量(mg/100 g)

Table 4 Nucleotide content in Tan mutton during roasting process (mg/100 g)

核苷酸	烤制时间/min										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
5'-AMP	-	-	-	111.88 ± 2.10 <sup>d</sup>	173.12 ± 26.61 <sup>bc</sup>	196.49 ± 16.11 <sup>b</sup>	190.94 ± 11.24 <sup>b</sup>	178.90 ± 6.45 <sup>c</sup>	236.99 ± 0.50 <sup>a</sup>	263.12 ± 0.77 <sup>a</sup>	287.81 ± 4.35 <sup>a</sup>
5'-CMP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5'-GMP	107.34 ± 2.29 <sup>h</sup>	105.93 ± 2.17 <sup>h</sup>	114.94 ± 1.72 <sup>gh</sup>	124.27 ± 3.77 <sup>g</sup>	178.93 ± 4.91 <sup>e</sup>	162.95 ± 10.57 <sup>f</sup>	188.10 ± 0.50 <sup>e</sup>	230.07 ± 1.50 <sup>d</sup>	421.21 ± 1.80 <sup>c</sup>	547.11 ± 2.00 <sup>b</sup>	621.17 ± 2.64 <sup>a</sup>
5'-IMP	138.78 ± 1.86 <sup>fg</sup>	119.42 ± 4.64 <sup>g</sup>	194.31 ± 2.75 <sup>f</sup>	297.60 ± 0.12 <sup>c</sup>	304.83 ± 0.93 <sup>c</sup>	624.26 ± 81.79 <sup>e</sup>	619.55 ± 2.30 <sup>e</sup>	469.39 ± 1.53 <sup>d</sup>	861.79 ± 1.86 <sup>a</sup>	798.25 ± 4.91 <sup>b</sup>	463.68 ± 2.79 <sup>d</sup>

注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

表 5 滩羊肉烤制过程中核苷酸 TAV 值分析

Table 5 Analysis of TAV value of nucleotide in Tan mutton during roasting process

氨基酸	阈值/ mg·kg <sup>-1</sup>	烤制时间/min										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
5'-AMP	500.00	-	-	-	0.22	0.35	0.39	0.38	0.36	0.47	0.53	0.58
5'-GMP	125.00	0.86	0.85	0.92	0.99	1.43	1.30	1.50	1.84	3.37	4.38	4.97
5'-IMP	140.00	0.99	0.85	1.39	2.13	2.18	4.46	4.43	3.35	6.16	5.70	3.31

注:“-”表示未检出。

PCA 模型作为分离模型<sup>[40]</sup>。脂肪酸、水解氨基酸以及游离氨基酸和核苷酸前两个主成分的累积方差贡献率分别为 85.59%、90.60%和 61.60%，在分布图上可以很好地区分。当 2 个变量在载荷图和得分图上的位置相近时，表明这两个变量相关。

由图 3 可以看出除丁酸(C4:0)和油酸(C18:1n9c)外，其它 23 种脂肪酸主要与烤制 8, 18 min 和 20 min 羊肉样本相关，表明这 23 种脂肪酸是烤制 8, 18 min 和 20 min 时含量最高。在水解氨基酸中，亮氨酸和酪氨酸与烤制 20 min 羊肉样品位

置相近，表明亮氨酸和酪氨酸是烤制 20 min 羊肉样品关键氨基酸；苯丙氨酸、组氨酸和蛋氨酸是烤制 16, 18 min 羊肉样品关键氨基酸，脯氨酸为烤制 0~12 min 羊肉样品关键氨基酸。在游离氨基酸和核苷酸中，半胱氨酸、精氨酸丙氨酸以及 5'-鸟苷酸在烤制 18, 20 min 羊肉样品中含量最高，天冬氨酸、赖氨酸、酪氨酸、甘氨酸、丝氨酸以及缬氨酸为新鲜滩羊肉的关键游离氨基酸，蛋氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸为烤制 2~16 min 羊肉的关键游离氨基酸。

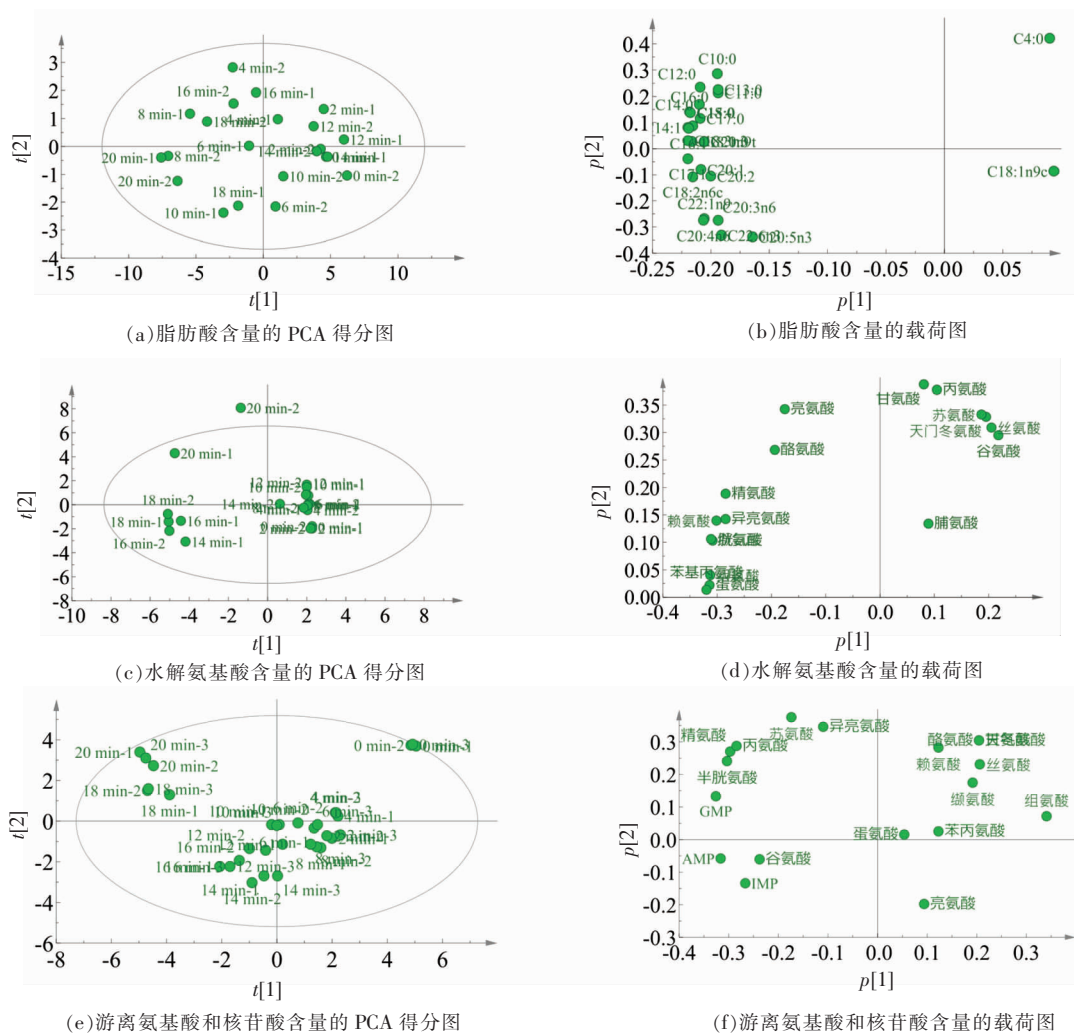


图3 脂肪酸含量、水解氨基酸含量、游离氨基酸和核苷酸含量的 PCA 得分图和载荷图

Fig.3 PCA score and loading plots for the content of fatty acid, hydrolyzed amino acid, free amino acid and nucleotide

### 3 结论

本试验以宁夏盐池滩羊为对象,研究了烤制过程对宁夏滩羊肉脂肪酸、氨基酸及核苷酸的影响。结果发现,随着烤制时间的延长,羊肉总蛋白质和总脂肪含量呈现明显上升趋势。总脂肪酸含量呈现先增加后降低在增加的趋势,差异不显著( $P>0.05$ )。总水解氨基酸含量显著增加,以赖氨酸、亮氨酸和半胱氨酸最为明显。游离氨基酸中精氨酸和丙氨酸的含量显著增加。TAV法确定了烤制滩羊肉中关键的鲜味氨基酸为谷氨酸,关键甜味氨基酸丙氨酸,关键苦味氨基酸为蛋氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、精氨酸。关键滋味物质5'-肌苷酸5'-鸟苷酸随着时间的延长而显著上升。

### 参 考 文 献

- [1] 赵丽梅. 2022年全国粮食总产量68653万吨比上年增加368万吨[EB/OL]. 中国青年报, (2023-01-17) [2023-02-14]. [https://www.360kuai.com/pc/92cac1d5e1c91f01b?cota=3&kuai\\_so=1&refer\\_scene=so\\_3&sign=360\\_da20e874](https://www.360kuai.com/pc/92cac1d5e1c91f01b?cota=3&kuai_so=1&refer_scene=so_3&sign=360_da20e874).
- ZHAO L M. The total national grain production in 2022 is 686.53 million tons, an increase of 3.68 million tons compared to the previous year[EB/OL]. China Youth Daily, (2023-01-17) [2023-02-14]. [https://www.360kuai.com/pc/92cac1d5e1c91f01b?cota=3&kuai\\_so=1&refer\\_scene=so\\_3&sign=360\\_da20e874](https://www.360kuai.com/pc/92cac1d5e1c91f01b?cota=3&kuai_so=1&refer_scene=so_3&sign=360_da20e874).

- [2] 尤丽琴, 罗瑞明, 苑显东, 等. 超高效液相色谱-质谱法检测滩羊宰后成熟过程中风味前体物质的变化[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 171-176.  
YOU L Q, LUO R M, YUAN Y D, et al. Changes in flavor precursors during postmortem ageing of Tan sheep meat as determined by ultra-high performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Food Science, 2020, 41(8): 171-176.
- [3] 张同刚, 苏春霞, 李俊丽, 等. 气相色谱-质谱法分析冷鲜滩羊肉微生物差异代谢物[J]. 食品科学, 2017, 38(10): 291-296.  
ZHANG T G, SU C X, LI J L, et al. GC-MS analysis of variation of microbial metabolites in fresh Tan sheep meat during chilled storage[J]. Food Science, 2017, 38(10): 291-296.
- [4] 马青, 李颖康, 赵双象, 等. 宁夏滩羊种公羊单核苷酸多态性与遗传进化分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(11): 107-112, 295.  
MA Q, LI Y K, ZHAO S X, et al. Analysis of single nucleotide polymorphism and genetic evolution of ram of Ningxia Tan sheep breed[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2017(11): 107-112, 295.
- [5] 胡冬梅. “中国滩羊之乡”宁夏盐池擦亮“盐池滩羊”品牌[EB/OL]. 中国日报网, (2022-04-19)[2022-05-14]. <https://cn.chinadaily.com.cn/a/202204/19/WS625e5c0da3101c3ee7ad12dc.html>.  
HU D M. Ningxia Yanchi, the ‘hometown of Tan sheep in China’, polishes the ‘Yanchi Tan sheep’ brand[EB/OL]. China Daily, (2022-04-19)[2022-05-14]. <https://cn.chinadaily.com.cn/a/202204/19/WS625e5c0da3101c3ee7ad12dc.html>.
- [6] 蒲利宏. “盐池滩羊”区域公用品牌价值突破 88 亿元[EB/OL]. 宁夏新闻网, (2022-03-16)[2022-05-14]. [http://www.nxnews.net/zt/2021/qhxzc/2021kxj/2021ywdt/202203/20220316\\_7481862.html](http://www.nxnews.net/zt/2021/qhxzc/2021kxj/2021ywdt/202203/20220316_7481862.html).  
PU L H. The value of the public brand in the ‘Yanchi Tan sheep’ region has exceeded 8.8 billion yuan[EB/OL]. Ningxia News Network, (2022-03-16)[2022-05-14]. [http://www.nxnews.net/zt/2021/qhxzc/2021kxj/2021ywdt/202203/20220316\\_7481862.html](http://www.nxnews.net/zt/2021/qhxzc/2021kxj/2021ywdt/202203/20220316_7481862.html).
- [7] 黄业传, 李洪军, 吴照民, 等. 猪肉烤制过程中脂肪含量和脂肪酸组成的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(24): 213-219.  
HUANG Y C, LI H J, WU Z M, et al. Changes in lipid content and fatty acid composition of pork during roasting [J]. Food Science, 2011, 32(24): 213-219.
- [8] 黄莉, 孔保华, 李菁, 等. 氧化引起肉及肉制品品质劣变的机理及影响因素[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 319-323.  
HUANG L, KONG B H, LI J, et al. Advances in studies of quality deterioration mechanism of meat and meat products caused by oxidation and influencing factors[J]. Food Science, 2011, 32(9): 319-323.
- [9] 霍晓娜, 李兴民. 光对冷却肉脂肪氧化和色泽变化的影响[J]. 肉类研究, 2008, 22(2): 3-10.  
HUO X N, LI X M. Effects of light on lipid oxidation and color change of chilled meat[J]. Meat Research, 2008, 22(2): 3-10.
- [10] 张进伟, 胡晓, 陈胜军, 等. 腌制风干过程中卵形鲳鲹鱼肉性质、蛋白质氧化及游离氨基酸的变化[J]. 食品科学, 2022, 43(18): 272-278.  
ZHANG J W, HU X, CHEN S J, et al. Changes in physicochemical properties, protein oxidation and free amino acids of *Trachinotus ovatus* during curing and air-drying[J]. Food Science, 2022, 43(18): 272-278.
- [11] 马建荣, 潘腾, 王振宇, 等. 传统炭烤羊肉特征滋味成分解析[J]. 食品科技, 2019, 44(4): 110-116.  
MA J R, PAN T, WANG Z Y, et al. Analysis of taste components of traditional charcoal roast mutton [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(4): 110-116.
- [12] XIE J, WANG Z, WANG S, et al. Textural and quality changes of hairtail fillets (*Trichiurus haumela*) related with water distribution during simulated cold chain logistics [J]. Food Science and Technology International, 2020, 26(4): 291-299.
- [13] 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.  
ZHAO B, ZHANG Y Y, WANG S W, et al. Effect of cooking water on taste characteristics of Ningxia hand-grasped mutton [J]. Food Science, 2022, 43(8): 52-58.
- [14] 任佳桢, 翟营营, 黄晶晶, 等. 酵母抽提物滋味成分分析及其复合调味料对鲢鱼风味的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 210-217.  
REN J Y, ZHAI Y Y, HUANG J J, et al. Analysis of taste components of yeast extract and effect of

- composite seasoning containing it on the flavor of silver carp[J]. Food Science, 2020, 41(16): 210–217.
- [15] WALL K R, KERTH C R, MILLER R K, et al. Grilling temperature effects on tenderness, juiciness, flavor and volatile aroma compounds of aged ribeye, strip loin, and top sirloin steaks[J]. Meat Science, 2019, 150(1): 141–148.
- [16] TORNBERG E. Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products[J]. Meat Science, 2005, 70: 493–508.
- [17] BAI S, WANG Y R, LUO R M, et al. Characterization of flavor volatile compounds in industrial stir-frying mutton sao zi by GC-MS, E-nose, and physicochemical analysis[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 9(1): 499–513.
- [18] TAVARES W P S, DONG S, JIN W, et al. Effect of different cooking conditions on the profiles of Maillard reaction products and nutrient composition of hairtail (*Thichiurus lepturus*) fillets[J]. Food Research International, 2018, 103(1): 390–397.
- [19] 何丹, 郝淑贤, 魏涯, 等. 鲟鱼籽酱 (*Huso dauricus*×*Acipenser schrenckii*) 冷藏期间脂肪酸组成的变化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(11): 319–323.
- HE D, HAO S X, WEI Y, et al. Changes of fatty acid profile in sturgeon (*Huso dauricus* × *Acipenser schrenckii*) caviar during cool storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(11): 319–323.
- [20] 刘安军, 杨书文, 曹东旭, 等. 两种鱼中各部位脂肪酸的 GC 分析[J]. 粮油加工, 2007(1): 57–59.
- LIU A J, YANG S W, CAO D X, et al. GC analysis of fatty acids in different parts of two fishes[J]. Cereals and Oils Processing, 2007(1): 57–59.
- [21] 吴娜, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 动物源食品中脂质氧化降解对香气物质形成的作用[J]. 中国食品学报, 2016, 16(7): 209–215.
- WU N, WANG X C, TAO N P, et al. Contribution of lipid oxidation and degradation to the formation of aroma compounds in animal-derived foods[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(7): 209–215.
- [22] WILLIAMS P. Nutritional composition of red meat[J]. Nutrition & Dietetics, 2007, 64(4): 113–119.
- [23] TURAN H, SÖNMEZ G, KAYA Y. Fatty acid profile and proximate composition of the thornback ray (*Raja clavata*, L. 1758) from the Sinop coast in the Black Sea[J]. Journal of Fisheries Sciences com, 2007, 1(2): 97–103.
- [24] 周蓓蓓, 吴向骏, 张雷, 等. 后熟过程对封鳊鱼风味物质及氨基酸、脂肪酸组成的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(8): 118–127.
- ZHOU B B, WU X J, ZHANG L, et al. Effects of postripeness process on flavor components, amino acids and fatty acids of sealed bream[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(8): 118–127.
- [25] WEREŃSKA M, HARAF G, WOLOSZYN J, et al. Fatty acid profile and health lipid indices of goose meat in relation to various types of heat treatment[J]. Poultry Science, 2021, 100(8): 1–12.
- [26] FERNANDES C E, VASCONCELOS M A D S, RIBEIRO M D A, et al. Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil [J]. Food Chemistry, 2014, 160(1): 67–71.
- [27] MAPIYE C M, CHIMONYO K, DZAMA A, et al. Fatty acid composition of beef from Nguni steers supplemented with *Acacia karroo* leaf-meal[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(4/5): 523–528.
- [28] CAMERONA N D, ENSER M B. Fatty acid composition of lipid in *Longissimus dorsi* muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality[J]. Meat Science, 1991, 29(4): 295–307.
- [29] 黄业传, 李洪军, 秦刚, 等. 不同加工方式与时间对猪肉脂肪含量和脂肪酸组成的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(1): 159–174.
- HUANG Y C, LI H J, QIN G, et al. Effect of processing methods and time on intramuscular lipid content and fatty acid composition of pork[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(1): 159–174.
- [30] 王永瑞, 薛美芳, 罗瑞明, 等. 羊肉烤制过程中水分的分布与迁移规律[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 297–308.
- WANG Y R, XUE M F, LUO R M, et al. Moisture distribution and migration law of mutton during the roasting process[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(3): 297–308.
- [31] 盛晓风, 孙晓杰, 丁海燕, 等. 七种养殖淡水鱼类肌肉营养组成及对比研究[J]. 食品工业科技, 2016,

- 37(3): 359–363.
- SHENG X F, SUN X J, DING H Y, et al. Analysis and evaluation of the nutritional composition in seven cultured fresh water fishes [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(3): 359–363.
- [32] MASHIMA D, OKA Y, GOTOH T, et al. Correlation between skeletal muscle fiber type and free amino acid levels in Japanese Black steers[J]. *Animal Science Journal*, 2019, 90(4): 604–609.
- [33] 江津津, 严静, 郑玉玺, 等. 不同产地传统鱼露风味特征差异分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(12): 206–214.
- JIANG J J, YAN J, ZHENG Y X, et al. Analysis of flavor characteristics of traditional fish sauce from different regions[J]. *Food Science*, 2021, 42(12): 206–214.
- [34] 罗佳峰, 孙震, 何俊, 等. 腌制及烤制时间对蜜汁烤鸭腿风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(18): 191–198.
- LUO J F, SUN Z, HE J, et al. Effects of curing and roasting time on flavor of honey-roasted duck leg[J]. *Food Science*, 2021, 42(18): 191–198.
- [35] DAI Y, CHANG H J, CAO S X, et al. Nonvolatile taste compounds in cooked Chinese Nanjing duck meat following postproduction heat treatment[J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(5): C674–C679.
- [36] 赵改名, 柳艳霞, 高晓平, 等. 现代工艺金华火腿中游离氨基酸含量的研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(21): 152–154.
- ZHAO G M, LIU Y X, GAO X P, et al. Changes of free amino acids in Jinhua ham during processing [J]. *Food Science*, 2009, 30(21): 152–154.
- [37] 石庆安. 呈味核苷酸产品在鸡精生产中的应用研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(12): 92–94.
- SHI Q A. Study on the application of tasteful nucleotide products in the production of chicken essence[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(12): 92–94.
- [38] 张风雪, 贾娜, 刘登勇. 沟帮子烧鸡加工过程中的滋味及风味物质变化[J]. *肉类研究*, 2018, 32(9): 23–28.
- ZHANG F X, JIA N, LIU D Y. Changes in taste and flavor substances during the processing of goubangzi roast chicken[J]. *Meat Research*, 2018, 32(9): 23–28.
- [39] ALIZADEH N, KAMALABADI M, MOHAMMADI A. Determination of histamine and tyramine in canned fish samples by headspace solid-phase microextraction based on a nanostructured polypyrrole fiber followed by ion mobility spectrometry[J]. *Food Analytical Methods*, 2017, 10(9): 3001–3008.
- [40] WU Z B, CHEN L Z, WU L M, et al. Classification of Chinese honeys according to their floral origins using elemental and stable isotopic compositions [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(22): 5388–5394.

### Effects of Roasting on the Content of Fatty Acids, Amino Acids and Nucleotides of Tan Mutton from Ningxia

Wang Yongrui<sup>1</sup>, Bai Shuang<sup>2</sup>, Luo Ruiming<sup>2</sup>, Wang Songlei<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>College of Animal Science and Technology, Ningxia University, Yinchuan 750021

<sup>2</sup>College of Food Science and Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021)

**Abstract** The content of fatty acids, amino acids, nucleotides of Tan sheep from Yanchi, Ningxia roasted for different periods were analyzed. The results showed that the total protein content increased from 19.92% to 40.51%, and the total fat content increased from 3.51% to 12.75%. The total fatty acid content increased first (roasted for 0–8 min) and then decreased (roasted for 8–12 min) and increased finally (roasted for 12–20 min) with no significant difference ( $P>0.05$ ). The content of oleic acid, stearic acid and palmitic acid were the highest among 25 fatty acid identified in all samples and their content exceeds 100 mg/100 g. The content of total hydrolyzed amino acids increased significantly ( $P<0.05$ ), increased from 18.5 g/100 g in fresh meat to 49.42 g/100 g. Among all amino acid, lysine, leucine, and cysteine showed the most significant increases. Among the free amino acids, the contents of arginine, alanine and cysteine showed an increasing trend, the contents of histidine showed a decreasing trend and the changes of other free amino acids were not

significant ( $P>0.05$ ). The taste activity value (TAV) method identified that the key umami amino acids in roasted Tan mutton was glutamic acid, the key sweet amino acid was alanine, and the key bitter amino acids were methionine, phenylalanine, valine, and arginine. The main taste substances 5'-adenylic acid and 5'-guanylic acid in roasted Tan mutton increased significantly with increase of time. Collectively, the results of PCA analysis indicated that fatty acids, hydrolyzed amino acids, free amino acids and nucleotides in Tan mutton were significantly different during the roasting process.

**Keywords** Tan mutton; roasting; fatty acids; hydrolyzed amino acids; free amino acids; nucleotides