

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80367

三元猪不同部位肌肉氨基酸组成 与挥发性风味物质比较

李睿¹ 王敬宇¹ 师希雄¹ 张爱文² 于轩² 徐琳娜²

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省畜牧技术推广总站, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 科学评价三元猪不同部位肉的氨基酸及挥发性风味物质差异。[方法] 选取三元猪的前腿肉、后腿肉及背最长肌进行氨基酸及挥发性风味化合物组成对比分析。[结果] 前腿肉、后腿肉和背最长肌的总氨基酸含量分别为 16.13, 15.69, 17.26 g/100 g; 必需氨基酸含量为 6.33, 6.12, 6.71 g/100 g; 非必需氨基酸含量为 9.79, 9.57, 10.56 g/100 g。其中, 背最长肌的鲜味氨基酸含量和甜味氨基酸含量均显著高于其他部位。此外, 采用气相色谱—离子迁移谱联用技术(GC-IMS)在猪肉的不同部位中共鉴定出 35 种主要挥发性化合物, 包括醛类、醇类、酯类、酮类等。[结论] 背最长肌的醛类物质和醇类物质总含量占比为 37.51%, 总体显著高于其他部位, 整体风味较优。

关键词: 三元猪; 肌肉部位; 氨基酸; 挥发性风味物质

Comparison of amino acids and volatile flavor compounds in various parts of Ternary pig meat

LI Rui¹ WANG Jingyu¹ SHI Xixiong¹ ZHANG Aiwen² YU Xuan² XU Linna²

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Provincial Animal Husbandry Technology Extension Station, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] To scientifically evaluate the differences of amino acids and volatile flavor compounds in various parts of Ternary pig meat. [Methods] The composition of amino acids and volatile flavor compounds in front leg meat, hind leg meat, and longissimus dorsi muscle of the Ternary pig is compared and analyzed. [Results] The total amino acid content of fore limb meat, hind limb meat, and longissimus dorsi muscle is 16.13, 15.69, and 17.26 g/100 g, respectively. The essential amino acid content is 6.33, 6.12, and 6.71 g/100 g, respectively. The non-essential amino acid content is 9.79, 9.57, and 10.56 g/100 g, respectively. Among them, the content of umami and sweet amino acids in the longissimus dorsi muscle is significantly higher than that of other parts. In addition, 35 major volatile compounds are identified in various parts of pork by the gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS), including aldehydes, alcohols, esters, and ketones. [Conclusion] The total content of aldehydes and alcohols in the longissimus dorsi muscle accounts for 37.51 %, which is significantly higher than that of other parts, with better overall flavor.

Keywords: Ternary pig; meat part; amino acid; volatile flavor compound

猪肉营养价值丰富, 味道鲜美, 是重要的食物和营养物质供给来源^[1]。中国肉制品消费结构中, 猪肉的消费量常年稳居首位^[2]。三元猪(杜洛克猪×长白猪×大白猪)属于杂交猪种, 具备生长速度快、饲料转化率优异、瘦肉

产出比例高以及繁育性能好等优势, 可为农牧户带来颇为可观的养殖收益, 有力推动了生猪养殖产业的发展^[3]。随着全球经济水平的不断提升, 肉类行业发展急速攀增, 消费者对不同部位肉的营养品质及风味越来越重视^[4]。

基金项目: 中央财政优势特色产业集群项目(编号: GNKJ-2024-46)

通信作者: 徐琳娜(1985—), 女, 甘肃省畜牧技术推广总站正高级畜牧师, 博士。E-mail: 249896336@qq.com

收稿日期: 2025-04-18 改回日期: 2025-08-20

引用格式: 李睿, 王敬宇, 师希雄, 等. 三元猪不同部位肌肉氨基酸组成与挥发性风味物质比较[J]. 食品与机械, 2026, 42(2): 168-174.

Citation: LI Rui, WANG Jingyu, SHI Xixiong, et al. Comparison of amino acids and volatile flavor compounds in various parts of Ternary pig meat[J]. Food & Machinery, 2026, 42(2): 168-174.

杨晓玲等^[5]针对八眉猪背肌、腹肌两个部位中的氨基酸含量进行了测定,分析其氨基酸种类与比例。采用国际通用的FAO/WHO标准体系实施营养价值评估,发现背肌的鲜味与甜味氨基酸含量显著高于对照组。Zhang等^[6]基于多组学表征黑猪不同部位肉的风味物质,发现背肌主要表现出脂肪和坚果味道,五花肉呈现出柑橘和青草味道,颈背肉呈现出花香味,说明不同部位黑猪肉的特征风味物质存在一定的差异。典新雅^[7]对不同部位藏猪肉的肉质及加工适宜性进行了研究,发现背肌的氨基酸含量丰富且肉质较优,最适宜烤制和炒制,而腿肉炒制和烤制后嫩度相对较差。孟维一等^[8]采用HS-GC-IMS分析了不同部位猪肉的挥发性风味物质,发现五花肉的挥发性物质种类最多,含量相对最高。目前,有关三元猪的研究主要集中在育种与饲养方面,关于三元猪不同部位肉中氨基酸及挥发性风味物质的研究鲜有报道。试验拟对三元猪不同部位肉的氨基酸及挥发性风味物质组成进行分析比较,旨在确定三元猪氨基酸及挥发性风味物质较优的部位,为甘肃三元猪肉的开发利用提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 样品处理

10头出生28 d的断奶公仔猪,在中国天水麦积区富有猪场有限公司进行屠宰。屠宰过程严格执行国家相关屠宰标准。所有仔猪均在同一地点饲养,并喂相同的饲料(豆粕、玉米、麦麸和益生菌)。宰前禁食禁水,屠宰后迅速取出背最长肌、前腿肉和后腿肉,剔除脂肪与结缔组织,并切成约20 g的肉块,置于液氮中速冻,贮藏于-80℃备用。

1.2 试剂、仪器与设备

氨基酸混合标准品(1 mg/mL)、缬氨酸(初级内标,99%)、肌氨酸(二级内标,99%):美国Sigma-Aldrich公司;

甲醇:分析纯,天津市百世化工有限公司;

电子天平:BSA224S型,德国赛多利斯集团;

气相离子迁移谱联用仪:FlavourSpec[®]型,配有CTC自动顶空进样器,德国G.A.S.公司;

氨基酸分析仪:Biochrom30+型,英国百康公司。

1.3 试验方法

1.3.1 氨基酸含量测定 参照GB 5009.124—2016。

1.3.2 不同部位肉氨基酸评价方法

(1) 化学评分法:通过将待测蛋白质的必需氨基酸组成与具有理想氨基酸模式的参考蛋白质(如鸡蛋蛋白质、母乳蛋白质)进行系统性比对,精确测定待测蛋白质中必需氨基酸的相对不足程度^[9]。化学评分按式(1)进行计算^[10]。

$$CS = \frac{A_i}{A_{ref,i}} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

CS——化学评分,%;

A_i ——待测蛋白质中第*i*种必需氨基酸含量,mg/g;

$A_{ref,i}$ ——标准鸡蛋模式中第*i*种必需氨基酸含量,mg/g。

(2) 氨基酸比值系数法:基于联合国粮农组织(FAO)与世界卫生组织(WHO)联合制定的理想蛋白质必需氨基酸模式谱^[11],通过计算氨基酸比值(RAA)、比值系数(RC)及比值系数分(SRC),对三元猪肉不同部位肉的必需氨基酸营养价值展开评估。相关计算公式如式(2)~式(5)所示^[12]。

$$RAA = \frac{A_i}{B_{ref,i}}, \quad (2)$$

$$RC = \frac{RAA}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RAA}, \quad (3)$$

$$SRC = 100 - CV \times 100, \quad (4)$$

$$CV = \frac{\sigma}{\mu}, \quad (5)$$

式中:

$B_{ref,i}$ ——FAO/WHO模式中第*i*种必需氨基酸的含量,mg/g;

n——必需氨基酸总数;

CV——RC的变异系数;

σ ——RC的标准差;

μ ——所有RC的平均值。

1.3.3 挥发性物质提取 参照Grabež等^[13]的方法使用HS-GC-IMS(顶空-气相色谱-离子迁移谱)测定不同部位肉的挥发性风味物质。将2 g样品置于20 mL顶空瓶中,60℃振荡20 min。采用CTC PAL 3静态顶空自动进样装置,注射针温度85℃,自动吸取500 μL样品,插入GC进样口。采用高纯氮气作为载气,使用MXTWAX毛细管色谱柱(30 m×0.53 mm, 1.0 μm)于60℃下进行物质分离。载气流速:0~2 min, 2.0 mL/min; 2~10 min, 2.0~100.0 mL/min,保持10 min,使用53 mm长的迁移管以正离子模式进行检测,通过IMS迁移时间数据库检索。采用PubChem数据库及Classyfire软件对检测风味物质进行种类注释分析。为使不同量级的数据能够进行比较,对数据进行归一化处理。

1.4 数据统计

各指标均重复测定不少于3次,数据以平均值±标准差呈现。运用SPSS 26.0软件,通过Duncan法开展显著性检验($P < 0.05$ 为差异显著),并借助Origin 2022软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 氨基酸含量分析

肌肉组织中的氨基酸组成是决定其营养价值的核心要素^[14]。由表 1 可知,甘肃三元猪的前腿肉、后腿肉和背最长肌中均检测到 17 种氨基酸,氨基酸组成完整,与其他品种猪肉中氨基酸种类的构成相似^[4]。前腿肉与后腿肉在总氨基酸(TAA)、必需氨基酸(EAA)及非必需氨基酸(NAA)含量方面未表现出显著差异。而相较于背最长肌,后腿肉与前腿肉中的 TAA、EAA 和 NAA 含量均显著低于背最长肌($P < 0.05$)。同时,基于 FAO/WHO 的模式标准,对前腿肉、后腿肉和背最长肌的 EAA/TAA、EAA/NAA 进行比较分析,发现 3 个部位猪肉的 EAA/TAA 依次为 39.27%, 39.01% 和 40.30%, 均接近于 40%; 3 个部位 EAA/NAA 的值接近 60%, 达到了蛋白质理想的组成和结构要求,充分说明甘肃三元猪肉是蛋白质的优质来源^[15]。此外,3 个部位猪肉中的谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸和精氨酸含量较高。杨晓玲等^[5]报道八眉猪背肌与腹肌两部位

表 1 三元猪不同部位肉的氨基酸含量[†]

Table 1 Amino acid content in various parts of Ternary pig meat g/100 g

氨基酸	前腿肉	后腿肉	背最长肌
天冬氨酸	1.55±0.03 ^b	1.49±0.02 ^c	1.75±0.08 ^a
谷氨酸	3.03±0.09 ^{ab}	2.97±0.04 ^b	3.20±0.13 ^a
丝氨酸	0.68±0.03 ^{ab}	0.64±0.02 ^b	0.72±0.04 ^a
甘氨酸	0.71±0.02 ^b	0.73±0.03 ^b	0.82±0.06 ^a
组氨酸	0.57±0.01 ^{ab}	0.53±0.01 ^b	0.61±0.04 ^a
精氨酸	1.02±0.02 ^b	1.01±0.03 ^b	1.09±0.01 ^a
丙氨酸	0.96±0.02 ^{ab}	0.92±0.02 ^b	1.04±0.07 ^a
脯氨酸	0.58±0.04	0.58±0.03	0.61±0.06
胱氨酸	0.20±0.04	0.21±0.02	0.21±0.03
酪氨酸	0.49±0.03	0.48±0.03	0.52±0.01
苏氨酸*	0.80±0.03 ^a	0.76±0.01 ^b	0.84±0.03 ^a
缬氨酸*	0.84±0.03 ^b	0.80±0.02 ^b	0.89±0.02 ^a
蛋氨酸*	0.36±0.04	0.39±0.01	0.38±0.09
异亮氨酸*	0.76±0.02 ^b	0.73±0.02 ^b	0.81±0.01 ^a
亮氨酸*	1.34±0.05 ^b	1.31±0.03 ^b	1.44±0.05 ^a
苯丙氨酸*	0.72±0.02 ^b	0.69±0.02 ^c	0.76±0.02 ^a
赖氨酸*	1.51±0.03 ^b	1.45±0.04 ^b	1.59±0.04 ^a
TAA	16.13±0.49 ^b	15.69±0.25 ^b	17.26±0.41 ^a
EAA	6.33±0.19 ^b	6.12±0.12 ^b	6.71±0.17 ^a
NAA	9.79±0.30 ^b	9.57±0.13 ^b	10.56±0.26 ^a
EAA/TAA/%	39.27±0.24	39.01±0.17	40.30±1.45
EAA/NAA/%	64.67±0.66	63.97±0.44	63.54±1.17

† 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

中共检出 17 种氨基酸, EAA/TAA 的值接近 40%, EAA/NAA 的值接近 60%, 背肌的 TAA、EAA、NAA 含量显著高于腹肌,证实了不同部位猪肉的氨基酸含量可能存在显著差异;且谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸在背肌与腹肌中含量均排在前三位。Zi 等^[16]研究表明,肉类中大多数氨基酸含量相对稳定,不受年龄、品种和分割部位的影响。综上,三元猪背最长肌的氨基酸含量显著高于前腿肉和后腿肉。

2.2 风味氨基酸含量分析

氨基酸在猪肉的风味组成中发挥重要作用,是猪肉滋味形成的核心因素之一^[14]。崔艺燕等^[17]研究表明,谷氨酸与天冬氨酸是猪肉中的关键鲜味物质,能够显著提升猪肉的鲜美口感,而丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、甘氨酸以及脯氨酸是猪肉产生甜味的重要因素,极大地丰富了猪肉的风味层次。由表 2 可知,三元猪的不同部位肉中,风味氨基酸含量呈现出一定差异,从高到低依次为背最长肌、前腿肉以及后腿肉。三元猪前腿肉、后腿肉和背最长肌中的天冬氨酸和谷氨酸在风味氨基酸组成中占比均 > 50%。背最长肌的谷氨酸含量最高,天冬氨酸含量显著高于前腿肉和后腿肉,甘氨酸含量也显著高于其他两个部位。殷运菊等^[18]研究发现,鲜味氨基酸对肉类风味的形成具有促进作用,其在肉中的含量越高,赋予肉的风味越佳。杨晓玲等^[5]报道八眉猪的背肌中鲜味和甜味氨基酸含量较高,可能赋予了背肌良好的风味。综上,三元猪背最长肌的风味氨基酸含量显著高于其他部位。

表 2 三元猪不同部位肉的风味氨基酸含量[†]

Table 2 Flavor amino acid content in various parts of Ternary pig meat g/100 g

风味类型	氨基酸	前腿肉	后腿肉	背最长肌
鲜味	天冬氨酸	1.55±0.03 ^b	1.49±0.02 ^c	1.75±0.08 ^a
	谷氨酸	3.03±0.09 ^{ab}	2.97±0.04 ^b	3.20±0.13 ^a
甜味	丙氨酸	0.96±0.02 ^{ab}	0.92±0.02 ^b	1.04±0.07 ^a
	脯氨酸	0.58±0.04	0.58±0.03	0.61±0.06
	苏氨酸	0.80±0.03 ^a	0.76±0.00 ^b	0.84±0.03 ^a
	甘氨酸	0.71±0.02 ^b	0.73±0.02 ^b	0.82±0.06 ^a
	丝氨酸	0.68±0.03 ^{ab}	0.64±0.02 ^b	0.72±0.04 ^a
TAA		8.31±0.24 ^b	8.10±0.05 ^b	8.97±0.31 ^a

† 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 氨基酸评价

由表 3 可知,三元猪不同部位肉中,必需氨基酸总量为 43%~44%,高于 FAO/WHO 推荐的阈值(35%),尚未达到鸡蛋蛋白中必需氨基酸总量 49.70% 的水平^[19]。其中,除前腿和背最长肌的蛋氨酸+胱氨酸略低于 FAO/WHO 所设定的标准模式外,三元猪其他不同部位肉中各类氨基酸质量分数均高于该模式标准,表明三元猪肉营养价值高。

表3 三元猪不同部位肉中EAA/TAA比值与标准模式对比
Table 3 EAA/TAA ratio in various parts of Ternary pig meat compared with the standard models %

氨基酸	前腿	后腿	背最长肌	FAO/WHO 模式谱	全鸡蛋 模式谱
苏氨酸	4.96	4.84	4.87	4.00	5.10
缬氨酸	5.21	5.10	5.16	5.00	7.30
蛋氨酸+胱氨酸	3.47	3.82	3.42	3.50	5.50
异亮氨酸	4.72	4.65	4.69	4.00	6.60
亮氨酸	8.31	8.35	8.34	7.00	8.80
苯丙氨酸+酪氨酸	7.50	7.46	7.42	6.00	10.00
赖氨酸	9.36	9.24	9.21	5.50	6.40
合计	43.53	43.46	43.11	35.00	49.70

由表4可知,三元猪背最长肌与前腿肉的氨基酸比值系数(RC)表现出趋同性,且大小也存在一致性。苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸的RC值非常接近1,缬氨酸、蛋氨酸+胱氨酸的RC值偏小,尤其是蛋氨酸+胱氨酸的RC值分别为0.81,0.89,0.80,赖氨酸的RC值>1,相对偏大。前腿、后腿和背最长肌的氨基酸比值系数分(SRC)依次为81.20,82.66,81.46,三者之间相差较小。杨晓玲等^[5]也发现,八眉猪背肌和腹肌的SRC相差较小。此外,3个不同部位肉的化学评分(CS)也非常接近,各部位肉氨基酸的CS值也基本一致,表明三元猪不同部位肉的营养价值相近。综上,三元猪不同部位肉的营养价值差异较小,均符合FAO/WHO标准,是优质的蛋白质来源。

表4 三元猪不同部位肉中EAA营养价值

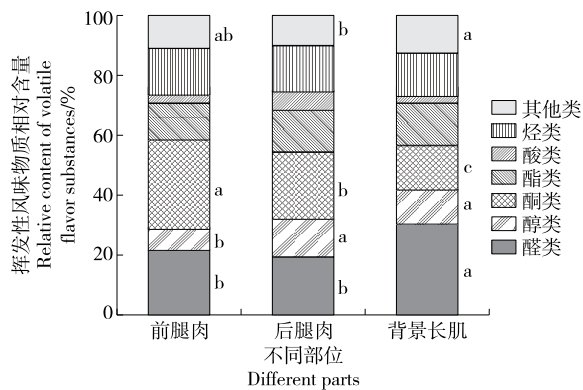
Table 4 EAA nutrition value of in various parts of Ternary pig meat

氨基酸	氨基酸比值系数(RC)			化学评分(CS)		
	前腿	后腿	背最长肌	前腿	后腿	背最长肌
苏氨酸	1.01	0.98	1.00	0.97	0.95	0.96
缬氨酸	0.85	0.83	0.85	0.71	0.70	0.71
蛋氨酸+胱氨酸	0.81	0.89	0.80	0.63	0.70	0.62
异亮氨酸	0.96	0.95	0.97	0.72	0.71	0.71
亮氨酸	0.97	0.97	0.98	0.94	0.95	0.95
苯丙氨酸+酪氨酸	1.02	1.01	1.02	0.75	0.75	0.74
赖氨酸	1.39	1.37	1.38	1.46	1.44	1.44
氨基酸比值系数分(SRC)	81.20	82.66	81.46	-	-	-

2.4 猪肉的不同部位肉挥发性风味物质分析

由表5和图1可知,三元猪的不同部位肉中共检出35种挥发性风味化合物,主要包括醛类、醇类、酮类、酯类

等化合物。其中醛类物质8种,醇类物质4种,酮类物质6种,酯类物质5种,酸类物质1种,烃类物质7种,其他类物质4种。猪肉中主要的挥发性风味化合物为醛类和醇类^[8]。



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图1 三元猪不同部位肉中主要挥发性风味物质相对含量
Figure 1 Relative content of major volatile flavor compounds in various parts of Ternary pig meat

2.4.1 醛类物质 醛类物质挥发性强,阈值低,是猪肉中主要的挥发性物质来源^[20],大部分醛类化合物来自脂肪酸的氧化降解,具有脂肪香气^[21-22]。由图1可知,三元猪的不同部位肉中,醛类化合物相对含量呈现出一定差异,由高到低依次为背最长肌、前腿肉以及后腿肉(P<0.05)。孟维一等^[8]采用HS-GC-IMS技术分析了猪里脊、猪五花、猪后尖的挥发性风味化合物,在不同部位猪肉中共鉴定出41种挥发性化合物,猪里脊的己醛和庚醛含量显著高于其他部位。试验发现,三元猪不同部位中己醛和壬醛是醛类物质中占比最高的两种。背最长肌中己醛含量为8.25%,显著高于其他两组(P<0.05),壬醛含量相对较高。己醛具有一定的脂肪与青草的气味,主要源于ω-6不饱和脂肪酸的分解过程;壬醛具有油脂、生青和甜味,它们均是衡量肉类风味的关键指标^[23-24]。

2.4.2 醇类物质 醇类物质主要因肌肉中的亚油酸在脂肪氧合酶和氢过氧化物酶的作用下发生氧化降解,其阈值较高^[25-26]。醇类化合物对肉香气的贡献虽不如醛类明显,但在构建肉类整体风味体系中也发挥着关键作用^[23]。由表5可知,三元猪中检出的醇类物质有2-甲基丁醇、叔丁醇、1-戊烯-3-醇和反式-2-己烯-1-醇。王玉涛等^[27]采用顶空固相微萃取和气-质联用技术分析检测了合作猪背最长肌的挥发性风味物质,共检出168种风味化合物,猪里脊中含有1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醇等。试验发现,背最长肌和后腿肉的醇类物质显著高于前腿肉(P<0.05),三元猪的不同部位肉中均含有1-戊烯-3-醇,且无显著性差异。1-戊烯-3-醇具有肉香味,能够显著提升猪肉的整

质有助于提升猪肉的风味。

2.4.4 其他类物质 在不同部位三元猪中,除了醛、醇、酮外,还含有酯类、酸类和烃类等挥发性物质,其中酯类化合物主要来源于肉中游离脂肪酸和醇的酯化反应^[32]。三元猪的3个部位中检出的酯类物质有丙酸乙酯、甲酸正丁酯、甲酸异戊酯、丁酸甲酯、乙酸甲酯。其中乙酸酯类具有奶油、脂肪气味,可协助增强猪肉风味^[27]。酸类主要源于脂肪在水解以及氧化过程中产生的小分子脂肪酸,阈值一般较高^[33],在肉类风味的形成中,酸类物质对风味的直接影响较小。烃类化合物主要源于肌肉组织中脂肪酸烷氧自由基的均裂反应,因其较高的香气感知阈值,在直接风味贡献方面相对有限,然而这类物质在肉类整体风味形成中具有协同增效作用^[34]。此外,背最长肌中的二甲基二硫醚相对含量为1.16%,显著高于其他部位($P < 0.05$),可赋予背最长肌良好的肉香味^[35]。

3 结论

对甘肃三元猪不同部位肉进行对比分析发现,甘肃三元猪各部位肉氨基酸种类齐全,均检出17种氨基酸。其中,背最长肌的总氨基酸、必需氨基酸、非必需氨基酸以及风味氨基酸含量显著高于前腿肉和后腿肉。基于氨基酸评价方法,3个部位肉的氨基酸均符合FAO/WHO优质蛋白质来源标准。此外,不同部位猪肉的挥发性风味物质分析显示,背最长肌的醛类物质与醇类物质含量显著高于其他部位,酮类阈值大,对猪肉整体风味贡献不大。综上,甘肃三元猪背最长肌的营养价值丰富,整体风味较优,具有较高的开发价值。试验研究了出生28 d三元猪不同部位肉的氨基酸和挥发性风味物质,然而不同生长阶段的肌肉发育和代谢差异可能影响氨基酸及风味物质积累,在之后的研究中,可以进一步选择不同生长阶段的三元猪对数据进行补充。

参考文献

- [1] POVOD M, MYKHALKO O, KYSELOV O, et al. Effects of various pre-slaughter weights on the physico-chemical qualities of pig meat[J]. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 2021, 8(3): 521-533.
- [2] 刘书杰,张海峰,王祖力,等. 2024年全球生猪产业发展情况及2025年的趋势[J]. *猪业科学*, 2025, 42(2): 32-35.
LIU S J, ZHANG H F, WANG Z L, et al. The development of global pig industry in 2024 and the trend in 2025[J]. *Swine Industry Science*, 2025, 42(2): 32-35.
- [3] 彭汝艳,孟宪华,周彤,等. 直隶黑猪与杜长大三元猪肉肉质性状对比分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(18): 262-271.
PENG R Y, MENG X H, ZHOU T, et al. Comparative analysis of meat quality traits between Zhili black pigs and DLY pigs[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(18): 262-271.
- [4] SI R, WU D D, NA Q, et al. Effects of various processing methods on the nutritional quality and carcinogenic substances of Bactrian camel (*Camelus bactrianus*) meat[J]. *Foods*, 2022, 11(20): 3 276.
- [5] 杨晓玲,席斌,李维红,等. 八眉猪不同部位肌肉氨基酸组成分析及营养评价[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(24): 232-236, 291.
YANG X L, XI B, LI W H, et al. Nutritional evaluation and composition analysis of amino acid in different parts of muscle of Bamei pig[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(24): 232-236, 291.
- [6] ZHANG Y Y, DIAO Y D, RAZA S H A, et al. Flavor characterization of pork cuts in Chalu black pigs using multi-omics analysis[J]. *Meat Science*, 2025, 219: 109668.
- [7] 典新雅. 不同部位藏猪肉宰后成熟过程的肉质变化及加工适宜性研究[D]. 林芝: 西藏农牧学院, 2023.
DIAN X Y. Study on meat quality changes and processing suitability of pork in different parts after slaughter[D]. Linzhi: Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, 2023.
- [8] 孟维一,古瑾,徐淇淇,等. 顶空气相色谱—离子迁移谱分析不同部位和品种猪肉的挥发性风味化合物[J]. *食品科学*, 2021, 42(24): 206-212.
MENG W Y, GU J, XU Q Q, et al. Analysis of volatile flavor compounds in pork meat from different carcass locations and breeds by gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Food Science*, 2021, 42(24): 206-212.
- [9] DEVADAS R. Amino acid content of foods and biological data on proteins[R]. Rome: Food Policy and Food SciServ Div FAO, 1970: 5-6.
- [10] 李瑞丽,胡丽芳,唐书升,等. 玉山黑猪肉营养特性分析[J]. *肉类研究*, 2013, 27(5): 10-13.
LI R L, HU L F, TANG S S, et al. Nutritional characteristics of meat from Yushan black pig[J]. *Meat Research*, 2013, 27(5): 10-13.
- [11] 陆东林. 乳蛋白质的氨基酸组成和氨基酸评分[J]. *新疆畜牧业*, 2014, 29(10): 4-8.
LU D L. Amino acid composition and amino acid score of milk protein[J]. *Xinjiang Animal Husbandry*, 2014, 29(10): 4-8.
- [12] 朱圣陶,吴坤. 蛋白质营养价值评价:氨基酸比值系数法[J]. *营养学报*, 1988, 10(2): 187-190.
ZHU S T, WU K. Nutritional evaluation of protein: ratio coefficient of amino acid[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 1988, 10(2): 187-190.
- [13] GRABEŽ V, BJELANOVIĆ M, ROHLOFF J, et al. The relationship between volatile compounds, metabolites and sensory attributes: a case study using lamb and sheep meat[J]. *Small Ruminant Research*, 2019, 181: 12-20.
- [14] HE X N, WANG H B, YANG X L, et al. The effects of frozen storage on fatty acids, amino acids, and volatile compounds in mutton stored for 90 days[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, 46(5): e16518.

- [15] LIAO J L, ZHANG P G, YIN J D, et al. New insights into the effects of dietary amino acid composition on meat quality in pigs: a review[J]. *Meat Science*, 2025, 221: 109721.
- [16] ZI X D, ZHONG G H, WEN Y L, et al. Growth performance, carcass composition and meat quality of Jiulong-yak (*Bos grunniens*)[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2004, 17(3): 410-414.
- [17] 崔艺燕, 马现永. 猪肉风味研究进展[J]. *肉类研究*, 2017, 31(6): 55-60.
CUI Y Y, MA X Y. Recent advances in the research on pork flavor compounds[J]. *Meat Research*, 2017, 31(6): 55-60.
- [18] 殷运菊, 郭秋平, 方正锋, 等. 氨基酸的呈味机制及其对肉品风味的影响研究进展[J]. *中国畜牧杂志*, 2025, 61(5): 95-102.
YIN Y J, GUO Q P, FANG Z F, et al. Research progress on amino acid flavor mechanism and its impact on meat flavor[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2025, 61(5): 95-102.
- [19] 张婧年, 李升升, 张艳, 等. 牦牛不同部位肉氨基酸和脂肪酸组成分析及营养评价[J]. *现代食品科技*, 2025, 41(7): 73-85.
ZHANG J N, LI S S, ZHANG Y, et al. Amino acid and fatty acid composition analysis and nutritional evaluation of yak meat from different parts[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2025, 41(7): 73-85.
- [20] DASHMAA D, CHO B W, ODKHUU G, et al. Meat quality and volatile flavor traits of duroc, Berkshire and yorkshire breeds[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2011, 31(6): 807-816.
- [21] ZHU B Q, GAO H, YANG F, et al. Comparative characterization of volatile compounds of Ningxiang pig, duroc and their crosses (duroc × Ningxiang) by using SPME-GC-MS[J]. *Foods*, 2023, 12(5): 1 059.
- [22] 杨倩, 贾洪峰, 张淼, 等. 不同烹制加工阶段水煮肉片关键挥发性风味物质分析[J]. *食品与机械*, 2024, 40(10): 28-38.
YANG Q, JIA H F, ZHANG M, et al. Analysis of key volatile flavor substances in boiled spicy pork slices during different cooking and processing stages[J]. *Food & Machinery*, 2024, 40(10): 28-38.
- [23] 李铁志, 王明, 雷激. 阿坝州半野血藏猪肉挥发性风味物质的研究[J]. *食品科技*, 2015, 40(10): 124-130.
LI T Z, WANG M, LEI J. Volatile flavor compounds of semi-wild-blood Aba Tibetan pork[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(10): 124-130.
- [24] GUO L N, HONG C, WANG W J, et al. Evaluation of low-temperature ultrasonic marination of pork meat at various frequencies on physicochemical properties, myoglobin levels, and volatile compounds[J]. *Meat Science*, 2024, 217: 109606.
- [25] ZHANG Y, LI H, ZHANG Y J, et al. Storage stability and flavor change of marinated pork[J]. *Foods*, 2022, 11(13): 1 825.
- [26] MA Q L, HAMID N, BEKHIT A E D, et al. Evaluation of pre-rigor injection of beef with proteases on cooked meat volatile profile after 1day and 21days post-mortem storage[J]. *Meat Science*, 2012, 92(4): 430-439.
- [27] 王玉涛, 王世锋, 刘孟洲, 等. 应用 HS-SPME 和 GC/MS 技术检测舍饲合作猪肌肉中的风味物质[J]. *核农学报*, 2008, 22(5): 654-660.
WANG Y T, WANG S F, LIU M Z, et al. Detecting of volatile flavor compounds of meat from yard feeding Hezuo swine by HS-SPME-GC/MS method[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, 22(5): 654-660.
- [28] 张凯华, 臧明伍, 张哲奇, 等. 微波复热时间对预制猪肉饼过熟味、脂肪氧化和水分分布特性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(9): 50-56.
ZHANG K H, ZANG M W, ZHANG Z Q, et al. Effect of microwave reheating time on warmed-over flavor, lipid oxidation and water distribution in precooked pork patties[J]. *Food Science*, 2020, 41(9): 50-56.
- [29] PIVETEAU F, LE GUEN S, GANDEMER G, et al. Aroma of fresh oysters *Crassostrea gigas*: composition and aroma notes[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(10): 4 851-4 857.
- [30] SONG S Q, TANG Q, FAN L, et al. Identification of pork flavour precursors from enzyme-treated lard using Maillard model system assessed by GC - MS and partial least squares regression[J]. *Meat Science*, 2017, 124: 15-24.
- [31] ZHAO T F, BENJAKUL S, SANMARTIN C, et al. Changes of volatile flavor compounds in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) during storage, as evaluated by headspace gas chromatography - ion mobility spectrometry and principal component analysis[J]. *Foods*, 2021, 10(12): 2 917.
- [32] 马雪媛, 张淼, 代芹燕, 等. 烤制方式对牛肉挥发性风味物质的影响[J]. *食品与机械*, 2025, 41(6): 26-35.
MA X Y, ZHANG M, DAI Q Y, et al. Effects of different roasting methods on volatile flavor compounds in beef[J]. *Food & Machinery*, 2025, 41(6): 26-35.
- [33] 袁丽萍, 彭斌, 钟比真, 等. 紫外减菌联合低温对草鱼肉品质及挥发性风味的影响[J]. *食品与机械*, 2023, 39(12): 117-125.
YUAN L P, PENG B, ZHONG B Z, et al. Effect of UV sterilization on the quality of grass carp meat during the chilling storage[J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(12): 117-125.
- [34] 李伟, 罗瑞明, 李亚蕾, 等. 宁夏滩羊肉的特征香气成分分析[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(5): 1 173-1 177.
LI W, LUO R M, LI Y L, et al. Analysis of characteristic aroma compounds of Ningxia Tan mutton[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(5): 1 173-1 177.
- [35] ZHANG Z Y, WANG B, CAO Y P. Characterization of potent odorants causing meaty odor reduction in thermal process flavorings with beef-like odor by the sensomics approach[J]. *Food Chemistry*, 2023, 426: 136649.