



不同来源和年份诺邓火腿的理化和呈味性质

刘毕琴¹, 王馨蕊¹, 赵文华¹, 李会民², 李 宏¹, 张军军², 史 巧^{1,*}

(1. 云南省农业科学院农产品加工研究所, 云南 昆明 650223; 2. 云南瑞通牧业科技开发有限公司, 云南 大理 671000)

摘 要: 为研究市售常见诺邓火腿的差异, 对具有地域特色的诺邓火腿进行综合评价。以洋三元白猪、诺邓黑猪为原材料, 按照诺邓火腿工艺加工1、3年火腿, 测定其理化指标、质构特性和游离氨基酸含量, 并用电子舌分析其滋味特性差异。结果表明: 4组火腿质地存在明显差异; 4组火腿中均分离出18种游离氨基酸, 精氨酸含量最丰富, 亮氨酸、赖氨酸和谷氨酸次之; 洋三元白猪火腿(W组)的游离氨基酸含量高于诺邓黑猪火腿(B组), B组的鲜味氨基酸相对含量高于W组, 氨基酸的释放量可明显将1年和3年的火腿区分开; 电子舌结果表明, B1组的滋味丰富性最大, B3组的咸味最大但鲜味最小, W1组的鲜味较大但丰富性较小, W3组的咸鲜味和丰富性适中。综上, 鲜味、丰富性和咸味是诺邓火腿重要的味觉指标, 诺邓黑猪火腿滋味较为丰富, B3组硬度、咸味最大, 加工过程中要控温控湿。

关键词: 诺邓火腿; 质构; 游离氨基酸; 呈味特征; 电子舌

Physicochemical and Taste Properties of Nuodeng Dry-Cured Hams from Different Pig Breeds and of Different Ages

LIU Biqin¹, WANG Xinrui¹, ZHAO Wenhua¹, LI Huimin², LI Hong¹, ZHANG Junjun², SHI Qiao^{1,*}

(1. Agro-Products Processing Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China;

2. Yunnan Ruitong Animal Husbandry Technology Development Co. Ltd., Dali 671000, China)

Abstract: In order to investigate the differences in the quality characteristics of the common commercial Nuodeng dry-cured hams, a comprehensive evaluation of Nuodeng featured dry-cured hams was carried out. The physicochemical characteristics, textural properties and free amino acid contents of one- and three-year-old hams from Duroc × (Landrace × Yorkshire) white pigs and those from Nuodeng black pigs were determined, and the difference in their taste profiles was analyzed by using an electronic tongue. The results showed that there were significant differences in the texture of the four ham samples. Eighteen free amino acids were isolated from each sample, with arginine being the most abundant, followed by leucine, lysine and glutamic acid. The free amino acid content of white pig dry-cured ham (W group) was higher than that of black pig dry-cured ham (B group), while the proportion of umami amino acids in W group was higher than that in B group. The one- and three-year-old hams could be clearly distinguished by the amount of released amino acids. The results of electronic tongue showed that the one-year-old B sample (B1 group) had the highest richness, the three-year-old B sample (B3 group) had the highest saltiness and lowest umami, the one-year-old W sample (W1 group) had the highest umami but lowest richness, and the three-year-old W sample (W3 group) had intermediate levels of saltiness, umami and richness. In summary, umami, richness and salty taste could be important taste indicators of Nuodeng dry-cured ham. Nuodeng black pig ham had a richer taste, and B3 group had the highest hardness and saltiness, indicating the need for temperature and humidity control during processing.

Keywords: Nuodeng dry-cured hams; texture; free amino acids; taste characteristics; electronic tongue

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210430-119

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 08-0001-08

引文格式:

刘毕琴, 王馨蕊, 赵文华, 等. 不同来源和年份诺邓火腿的理化和呈味性质[J]. 肉类研究, 2021, 35(8): 1-8. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210430-119. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2021-04-30

基金项目: 云南省科技厅重大科技专项 (2019ZG003)

第一作者简介: 刘毕琴 (1989—) (ORCID: 0000-0003-3718-3982), 女, 硕士研究生, 研究方向为农畜产品发酵。

E-mail: lbq@yaas.org.cn

(*) 通信作者简介: 史巧 (1983—) (ORCID: 0000-0003-2457-4618), 女, 助理研究员, 博士, 研究方向为农畜产品发酵。

E-mail: sq@yaas.org.cn

LIU Biqin, WANG Xinrui, ZHAO Wenhua, et al. Physicochemical and taste properties of Nuodeng dry-cured hams from different pig breeds and of different ages[J]. Meat Research, 2021, 35(8): 1-8. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210430-119. <http://www.rlyj.net.cn>

诺邓火腿产自云南省大理州云龙县诺邓村,以当地散养诺邓黑猪为原料,用独特的井盐腌制、上挂风干、发酵而成。在火腿长时间的加工过程中会发生一系列生物化学反应,产生独特的风味和质地。

滋味是衡量火腿品质的重要指标,其强度由呈味物质的含量和阈值共同决定^[1]。滋味活度值(taste activity value, TAV)是目前被业界广泛认可、最常用的反映呈味物质对产品整体风味贡献的关键性评价指标。呈味物质包括游离氨基酸、小分子肽类、核苷酸及相关化合物、有机碱等,游离氨基酸对火腿滋味贡献较大^[2]。氨基酸不仅是重要的呈味物质,而且还可以作为前体物质参与后续化学反应,产生干腌火腿的特征风味物质^[3]。在火腿加工过程中,蛋白水解酶作用于肌原纤维蛋白和肌浆蛋白,促进蛋白水解,肌肉蛋白酶和氨基肽酶降解蛋白质和肽产生非蛋白氮,组织蛋白酶和钙蛋白酶促进蛋白水解产生多肽^[4]。随后,氨基肽酶将小肽和多肽降解,产生游离氨基酸。

目前,对诺邓火腿的研究集中在微生物多样性^[5-6]、粗肽特征、抗氧化肽^[7-8]和化合物表征以及游离脂肪酸组成^[9]等,对诺邓火腿质构特性、游离氨基酸及其呈味特性的研究报道还很少。本研究采集不同来源、不同年限4组共12条成品诺邓火腿,比较其理化性质、质构特性和游离氨基酸含量差异,并利用TAV评价氨基酸的呈味作用,结合电子舌客观评价其总体呈味特征,综合分析不同来源、不同年限诺邓火腿的滋味属性差异,为判断诺邓火腿品质、改进诺邓火腿加工工艺、改善质量、实现产业化生产提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

诺邓火腿由云南瑞通牧业科技有限公司提供,洋三元白猪火腿1年(W1)、3年火腿(W3),诺邓黑猪1年(B1)、3年火腿(B3),各3条,共12条,样品腿质量见表1。火腿取材诺邓黑猪和洋三元白猪,放养结合饲养,多以土豆、玉米、南瓜、大豆及绿叶植物为饲料,诺邓黑猪饲养280 d,洋三元白猪饲养180 d。

表1 样品诺邓火腿质量

Table 1 Mass of fresh and dry-cured pig legs

原料来源	鲜腿质量/kg	加工1年火腿质量/kg	加工3年火腿质量/kg
诺邓黑猪	11.0~12.0	7.0~8.7	5.0~5.9
洋三元白猪	13.0~16.0	8.2~10.9	7.9~8.3

火腿的加工工艺主要包括鲜腿的选择、修整、去血水、喷酒、上盐、抹盐泥、腌制和上挂发酵8道工序。与洋三元白猪火腿相比,诺邓黑猪火腿质量稍低,腌制时间缩短2~3 d,风干发酵等后续加工流程基本一致。取干腌火腿股二头肌,剔除瘦肉中的肌腱及肌膜,真空包装,置于-20℃冰箱贮藏备用。

氢氧化钠、盐酸、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、三氯乙酸、对硝基苯酚、乙酸钠、甲醇、无水乙醇、邻苯二甲酸氢钾、酒石酸氢钾、柠檬酸氢二钠、氯化钾天津市风船化学试剂科技有限公司;甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、亚甲基蓝指示剂 广东光华科技股份有限公司;乙酸、甲醛、乙酰丙酮、硝酸、硝酸银、基准氯化钠 天津市致远化学试剂有限公司;硫代巴比妥酸、乙二胺四乙酸二钠 生工生物工程(上海)有限公司;AccQ-Tag A溶液、混合氨基酸标准溶液、AccQ-Fluor试剂盒(包括硼酸缓冲液1) 美国Waters公司。

1.2 仪器与设备

101-2AB电热恒温干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;GYW-1W水分活度测定仪 深圳冠亚水分仪科技有限公司;AUY220电子天平 日本岛津制作所;XW-80A涡旋振荡器 上海精科实业有限公司;KQ5200E超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;DZG-303A超纯水系统 成都艾柯水处理设备有限公司;XMTD-700电热恒温水浴锅 北京市永光明医疗仪器有限公司;3H16RI高速冷冻离心机 湖南赫西仪器装备有限公司;Five Easy Plus pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;Multiskan GO酶标仪 美国Thermo Fisher Scientific公司;2695高效液相色谱仪、2487紫外-可见光检测器、Empower色谱工作站、AccQ-Tag专用色谱柱(3.9 mm×150 mm, 4.0 μm) 美国Waters公司;TS-5000Z味觉分析系统 日本Insent公司。

1.3 方法

1.3.1 理化指标测定

水分含量测定:参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法;水分活度测定:参照GB 5009.238—2016《食品安全国家标准 食品水分活度的测定》中的水分活度仪扩散法;pH值测定:参照GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品pH值的测定》;氯化物含量测定:参照GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》中的直接滴定法;硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive



substance, TBARS) 值测定: 参照GB 5009.181—2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》中的分光光度法。

质构: 火腿样品切成1 cm×1 cm×1 cm的小正方体, 力量感应元量程为500 N, 实验用探头为直径38.1 mm圆柱。探头以样品平台为位移零点, 以60 mm/min速率向下运行, 当探头接触到火腿样品后(即触发力达到0.5 N时)以60 mm/min速率向下挤压, 使样品发生50%的形变后探头以60 mm/min速率抬起, 回到样品表面, 然后再重复挤压1次, 得到硬度、黏附性、弹性、胶黏性和咀嚼性。

总氮含量测定: 参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法。

水溶性氮、非蛋白氮含量测定: 参考江玉霞^[10]的方法, 并稍作修改。取5 g股二头肌样品, 与25 mL蒸馏水混合均匀, 4℃磁力搅拌10 min, 4℃、4 000 r/min离心10 min, 取上清液; 向沉淀中加入25 mL蒸馏水, 重复上述操作, 然后将2次离心所得的上清液混合, 中速定性滤纸过滤。水溶性氮含量测定: 参照GB 5009.5—2016中的凯氏定氮法测定滤液中水溶性氮含量; 非蛋白氮含量测定: 吸取10 mL滤液与10 mL 20 g/100 mL三氯乙酸溶液混合, 室温下静置30 min, 然后4℃、4 000 r/min离心10 min, 取上清液, 中速定性滤纸过滤, 参照GB 5009.5—2016中的分光光度法测定。

蛋白质水解指数按式(1)计算。

$$\text{蛋白质水解指数}/\% = \frac{\text{非蛋白氮含量}/\%}{\text{总氮含量}/\%} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2 游离氨基酸含量测定

采用AccQ-Tag HPLC方法进行火腿样品中氨基酸的测定。

样品前处理: 取一定量的股二头肌样品, 剔除筋膜、脂肪, 绞碎混合均匀, 取混匀样品冷冻干燥48 h, -20℃贮存备用。

超声提取氨基酸: 准确称量已处理好的火腿样品1 g, 用10 mL 0.005 mol/L盐酸超声萃取30 min。

衍生: 按照AccQ-Fluor试剂盒说明书配制衍生试剂。移取10 μL上述样品溶液, 注入6×50 mm衍生管底部, 加入70 μL硼酸缓冲液1, 涡旋混合, 再加入20 μL衍生试剂, 涡旋混合10 s, 在室温下放置1 min, 将衍生管用石蜡膜封口, 55℃加热5 min后取出, 即可用于进样。

色谱条件: 色谱柱为AccQ-Tag柱(3.9 mm×150 mm, 4.0 μm), 进样量10 μL, 洗脱液A为AccQ-Tag A液用水1:10稀释, 洗脱液B为乙腈, 洗脱液C为超纯水, 洗脱速率1.0 mL/min, 柱温37℃, 紫外检测波长248 nm。按表2进行梯度洗脱。

表2 梯度洗脱条件

Table 2 Gradient elution program for analysis of free amino acids

时间/min	洗脱液A 体积分数/%	洗脱液B 体积分数/%	洗脱液C 体积分数/%
0.0	100	0	0
0.5	99	1	0
18.0	95	5	0
19.0	91	9	0
29.5	83	17	0
33.0	0	60	40
36.0	100	0	0
45.0	100	0	0

1.3.3 TAV计算

TAV为样品中呈味物质含量与其阈值的比值, 当TAV>1时, 认为该物质对样品滋味有贡献, 且数值越大, 贡献越显著; TAV<1时, 认为该物质对呈味贡献较小, 由此确定主要呈味氨基酸。TAV按式(2)计算。

$$\text{TAV} = \frac{C_1}{C_2} \quad (2)$$

式中: C_1 为物质在样品中的含量/(mg/g); C_2 为该物质呈味阈值/(mg/g)。

1.3.4 滋味的电子舌测定

样品前处理: 称取25 g样品置于250 mL烧杯中, 添加100 mL 40℃纯净水, 玻璃棒搅拌, 将其置于超声波清洗机中超声10 min, 3 000 r/min离心5 min, 双层纱布过滤。

取滤液进行测定, 采用人工脂质膜传感器, 在室温下测定, 实现对5种基本味(酸、甜、苦、咸、鲜)和涩味的评价, 每个样品重复测定5次。

参比溶液由KCl和酒石酸组成, 酸味的无味点为-13, 咸味的无味点为-6, 其他指标的无味点均为0, 以此为基准, 将大于无味点的味觉项目作为评价对象。

1.4 数据处理

火腿理化指标实验设3个重复, 各组数据以平均值±标准差表示, 采用SPSS 22.0软件对实验数据进行方差分析。在<https://www.metaboanalyst.ca/>网站进行多元统计分析的主成分分析、偏最小二乘法判别分析(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)。利用TBtool软件绘制氨基酸含量的聚类热图。

2 结果与分析

2.1 不同诺邓火腿理化特性

水分含量是评价干腌火腿干燥程度、品质和货架稳定性的重要指标^[11]。由表3可知, 随着诺邓火腿加工时间的延长, 水分含量和水分活度整体显著降低($P<0.05$), W3组与W1组相比, 水分含量降低17.10%

($P<0.05$)，水分活度从0.73降低到0.69 ($P<0.05$)；B3组与B1组相比，水分含量降低18.61% ($P<0.05$)，水分活度从0.70降低到0.64 ($P<0.05$)。本研究结果与朱静静等^[12]的研究结果相似，一方面，受渗透压和加工环境温度、湿度的影响；另一方面，降低火腿中的水分含量和水分活度是防止腐败的关键，有利于终产品的贮藏^[13]。对于不同品种的诺邓火腿而言，洋三元白猪火腿的水分含量显著高于诺邓黑猪火腿 ($P<0.05$)，火腿的水分含量和原料肉本身水分含量、火腿大小有关系。Seong等^[14]指出，干腌火腿的水分活度、盐含量受品种的影响。

表3 不同诺邓火腿的理化特性

Table 3 Physicochemical properties of different Nuodeng dry-cured hams

指标	洋三元白猪		诺邓黑猪	
	W1组	W3组	B1组	B3组
水分含量/%	51.16±2.29 ^a	44.73±3.65 ^b	46.11±2.53 ^b	37.53±2.75 ^c
水分活度	0.73±0.01 ^a	0.69±0.04 ^b	0.70±0.03 ^b	0.64±0.04 ^c
pH	5.98±0.06 ^b	6.09±0.21 ^a	6.11±0.03 ^a	5.69±0.05 ^c
氯化物含量/%	4.26±0.14 ^b	4.69±0.43 ^b	4.58±0.18 ^b	5.31±0.74 ^a
TBARS值/(mg/kg)	0.57±0.06 ^a	0.60±0.14 ^a	0.49±0.15 ^a	0.48±0.06 ^a

注：同行小写字母不同，表示差异显著 ($P<0.05$)。表4~6同。

加工3年和1年的腿相比，诺邓黑猪火腿氯化物含量显著上升 ($P<0.05$)，洋三元白猪火腿上升不明显。随着加工时间的延长，盐分不断地向火腿内部渗透，同时火腿不断失水，造成火腿中水分含量下降，氯化物含量升高^[15]，诺邓黑猪火腿质量较小，水分损失较大，故氯化物含量显著上升。

pH值是评价肉质的基本参数，是决定火腿内部微生物稳定性的主要因素之一。W3组火腿pH值显著大于W1组 ($P<0.05$)，这是因为在火腿加工过程中，内源蛋白酶使蛋白质降解产生氨、胺及碱性氨基酸等碱性物质，造成pH值升高^[16]。火腿pH值偏高可以减少滴水损失和蒸煮损失，增加二磷酸腺苷含量^[17]。B3组的pH值低于B1组，可能与3年的诺邓黑猪火腿中水分流失较大、游离脂肪酸积累等有关。3年火腿和1年火腿相比，TBARS值有变化，但无显著性差异，均在国家标准和国际认可的限量范围内 (TBARS值 ≤ 1 mg/kg)。

2.2 不同诺邓火腿质构特性

表4 不同诺邓火腿的质构特性

Table 4 Texture profile analysis of different Nuodeng dry-cured hams

指标	洋三元白猪		诺邓黑猪	
	W1组	W3组	B1组	B3组
硬度/N	52.08±1.61 ^a	107.03±5.47 ^b	64.49±3.03 ^c	183.31±3.52 ^d
黏附性/(N·mm)	0.44±0.10 ^b	0.73±0.14 ^a	0.45±0.08 ^b	0.48±0.16 ^b
弹性/mm	3.02±0.33 ^a	2.95±0.60 ^a	3.26±0.52 ^a	2.77±0.23 ^a
胶黏性/N	23.33±1.46 ^a	42.59±6.01 ^b	28.46±2.53 ^a	86.03±4.31 ^c
咀嚼性/mJ	66.50±6.75 ^a	137.91±4.49 ^b	85.60±2.40 ^a	247.10±9.98 ^d

由表4可知，对于同一来源火腿，从加工1年到3年，硬度、黏附性、胶黏性和咀嚼性增加，其中硬度、胶黏性和咀嚼性显著增加 ($P<0.05$)，弹性无显著性差异。B3组火腿硬度最大，咀嚼费力，W1组火腿最为柔软，咀嚼不费力。干腌火腿的质地差异可能与水分含量、盐含量和蛋白质水解程度相关，整个加工过程中盐含量的增加和水分的流失会导致火腿硬度和咀嚼性增加^[18]。Zhou Yang等^[19]研究发现，干腌火腿的黏附性与水分含量呈负相关，降低水分含量有助于提高干腌火腿的黏附性。Ruiz-Ramírez等^[20]研究表明，蛋白水解程度越高的火腿具有更高的黏附性和弹性。此外，猪品种对于腌火腿的质地特征有潜在影响^[14]。

2.3 不同诺邓火腿总氮、非蛋白氮和水溶性氮含量

表5 诺邓火腿总氮、非蛋白氮和水溶性氮含量

Table 5 Total nitrogen, non-protein nitrogen and water-soluble nitrogen contents in different Nuodeng dry-cured hams

指标	洋三元白猪		诺邓黑猪	
	W1组	W3组	B1组	B3组
总氮含量	5.70±0.59 ^{ab}	6.48±0.41 ^b	5.29±0.10 ^b	6.01±0.37 ^{ab}
非蛋白氮含量	1.30±0.17 ^a	2.08±0.12 ^a	1.21±0.07 ^a	1.60±0.04 ^b
水溶性氮含量	1.67±0.14 ^a	2.56±0.16 ^a	1.79±0.05 ^{bc}	1.93±0.07 ^b
蛋白质水解指数	22.20±4.39 ^a	32.31±3.41 ^b	22.85±1.24 ^a	26.65±1.99 ^b

由表5可知：W3组与W1组相比，总氮含量增加13.61% ($P<0.05$)，B3组与B1组相比，总氮含量增加13.58% ($P<0.05$)；加工3年的火腿总氮含量显著高于1年火腿 ($P<0.05$)，洋三元白猪火腿总氮含量高于诺邓黑猪火腿，但无显著性差异。

非蛋白氮含量指除蛋白质外的多肽、短肽及游离氨基酸等的总量，肌肉中蛋白质发生降解作用同时导致这类物质大量增加^[10]。洋三元白猪和诺邓黑猪火腿加工3年，非蛋白氮含量显著增加 ($P<0.05$)，Soriano等^[21]对法国干腌火腿加工过程中含氮物进行研究也发现相似的结果。随着火腿加工时间的延长，火腿中的蛋白质降解成小肽和游离氨基酸，使非蛋白氮含量增加，降解程度受火腿加工过程中温湿度条件和产品中盐分、水分的影响^[22]。蛋白质水解是干腌火腿加工过程中的主要生化反应，对于腌火腿的质构和口感形成有重要作用^[23]。水溶性氮是火腿蛋白质在发酵过程中降解的产物，W3组水溶性氮含量显著高于W1组 ($P<0.05$)。

只有在蛋白质适度水解的情况下，才能形成火腿的良好滋味，火腿的滋味主要取决于内源酶的活性变化，受腌制用盐量、加工环境温度及成熟期长短等因素的制约^[24]。洋三元白猪火腿和诺邓黑猪火腿加工1年到3年，蛋白质水解指数分别由22.20%、22.85%增加到32.31%、26.65%，整体呈上升趋势，主要是蛋白质降解造成的。Carenì等^[25]报道，品质好的意大利干腌火腿蛋白质水解指

数为22%~30%，蛋白质水解指数小于20%的火腿缺乏应有的风味，大于30%的火腿质地变软，有明显的金属味和苦味。B3组蛋白水解指数适中，水解程度较好。

2.4 不同诺邓火腿中游离氨基酸含量及其TAV

表6 不同诺邓火腿中游离氨基酸的含量和TAV

Table 6 Contents and TAV of free amino acids in different Nuodeng dry-cured hams

呈味特性	名称	阈值 ^[27] (mg/L)	W1组		W3组		B1组		B3组	
			含量/(mg/g)	TAV	含量/(mg/g)	TAV	含量/(mg/g)	TAV	含量/(mg/g)	TAV
鲜味	天冬氨酸	1.0	11.59±0.88 ^a	11.59	17.32±0.93 ^b	17.32	15.55±0.57 ^a	15.55	20.01±0.87 ^b	20.01
	谷氨酸	0.3	33.27±0.56 ^a	111.30	59.66±0.59 ^b	198.87	40.40±1.26 ^a	134.67	50.87±0.68 ^b	169.57
	精氨酸	2.6	36.90±0.71 ^a	14.19	66.33±1.74 ^b	25.51	26.32±1.16 ^a	10.12	33.62±0.73 ^b	12.93
	丙氨酸	0.6	32.56±0.82 ^b	54.27	57.71±1.56 ^b	96.18	29.60±1.08 ^a	49.33	35.79±1.51 ^b	59.65
甜味	缬氨酸	3.0	24.66±1.03 ^a	8.22	46.03±1.52 ^b	15.34	23.54±0.92 ^a	7.85	32.32±0.40 ^b	10.77
	丝氨酸	1.5	34.97±0.88 ^a	9.98	26.67±0.72 ^a	18.78	16.62±0.79 ^a	11.08	25.96±0.95 ^b	17.31
	甘氨酸	1.3	24.21±1.17 ^a	18.62	36.19±0.97 ^b	27.84	19.74±0.19 ^a	15.18	26.38±2.58 ^b	20.29
	组氨酸	0.2	21.49±0.77 ^a	107.45	28.00±0.58 ^a	140.00	15.77±0.45 ^a	78.85	23.55±0.84 ^b	117.75
苦味	缬氨酸	0.4	33.53±1.86 ^a	83.83	57.11±1.22 ^b	142.78	28.95±1.38 ^a	72.38	41.02±1.48 ^b	102.55
	蛋氨酸	0.3	24.62±1.67 ^a	82.07	36.58±0.89 ^b	121.94	18.32±1.22 ^a	61.07	28.17±0.49 ^b	91.90
	赖氨酸	0.5	45.46±0.99 ^a	90.92	81.19±1.32 ^b	162.38	44.79±0.86 ^b	89.58	61.90±1.10 ^b	123.80
	异亮氨酸	0.9	22.65±0.70 ^a	25.17	33.01±0.46 ^b	36.68	18.11±0.91 ^a	20.12	26.64±0.72 ^b	29.60
	亮氨酸	1.9	55.99±1.92 ^a	29.47	80.27±1.01 ^b	42.25	47.72±0.74 ^b	25.11	67.90±0.84 ^b	35.74
	苯丙氨酸	0.9	37.25±0.98 ^a	41.39	52.23±0.72 ^b	58.03	25.99±0.48 ^a	28.88	39.84±0.88 ^b	44.26
	酪氨酸	-	15.28±0.57 ^a	-	23.24±1.36 ^b	-	16.77±1.04 ^a	-	17.63±0.74 ^b	-
	精氨酸	0.5	86.84±0.88 ^a	173.68	107.14±1.03 ^b	214.28	86.45±0.71 ^a	172.90	104.04±1.88 ^b	208.08
	色氨酸	-	3.12±0.19 ^a	-	7.52±0.23 ^b	-	3.12±0.14 ^a	-	4.70±0.18 ^b	-
	脯氨酸	-	0.69±0.06 ^a	-	0.95±0.06 ^b	-	1.17±0.13 ^b	-	1.26±0.10 ^b	-
总氨基酸			528.06±2.85 ^a		817.17±6.16 ^b		481.21±8.28 ^a		641.63±10.59 ^b	
鲜味氨基酸相对含量%			9.22±0.01 ^a		9.46±0.01 ^a		11.96±0.01 ^a		11.05±0.01 ^a	
甜味氨基酸相对含量%			24.48±0.01 ^a		26.50±0.03 ^a		23.78±0.01 ^a		23.55±0.01 ^a	
苦味氨基酸相对含量%			66.57±0.02 ^a		63.80±0.02 ^a		64.01±0.01 ^a		65.24±0.01 ^a	

注：—，未说明。

由表6可知，4组火腿样品中均检测出18种游离氨基酸，差异显著（ $P<0.05$ ），总含量为481.21~817.17 mg/g。游离氨基酸总量最高的为W3组，其中精氨酸含量最丰富，亮氨酸、赖氨酸和谷氨酸次之。精氨酸可与谷氨酸协同作用，产生令人愉快的整体味道。Toldrá等^[27]研究发现，丙氨酰、亮氨酰和精氨酰氨肽酶具有良好的稳定性。丙氨酰氨肽酶具有广泛的特异性，特别是对苯丙氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、丙氨酸和亮氨酸，而精氨酰氨肽酶则更多地作用于一些碱性末端氨基酸，如精氨酸和赖氨酸。丙氨酰和精氨酰氨肽酶在火腿pH值附近具有最适pH值，这2种氨肽酶可能是干腌火腿加工过程中游离氨基酸生成的主要贡献者，且精氨酰氨肽酶是一种氯激活酶，受到盐的明显激活。

火腿加工期间，洋三元白猪火腿氨基酸增加量高于诺邓黑猪，和非蛋白氮含量变化趋势一致。在环境温湿度适宜、盐含量相对较低的情况下，干腌火腿中游离氨基酸的含量均随着加工的进行而增加^[28]。洋三元白猪火腿氨基酸总量显著高于诺邓黑猪火腿（ $P<0.05$ ），可能

与洋三元白猪火腿的水分含量、水分活度高于诺邓黑猪火腿，且诺邓黑猪火腿的盐含量较高有关，水分含量、水分活度降低影响酶的活性，大多数肌肉蛋白酶的活性会受到盐的抑制^[27]，肉和肉制品中肌肉蛋白水解酶、肌肉组织蛋白酶的活性与品种因素有关，瘦肉型猪组织蛋白酶H活性较高^[29-30]。

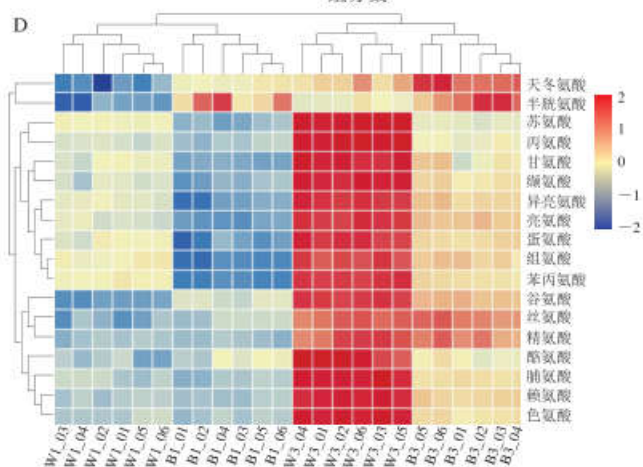
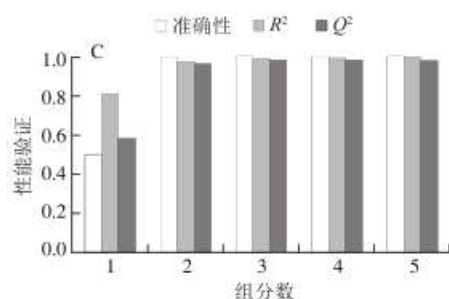
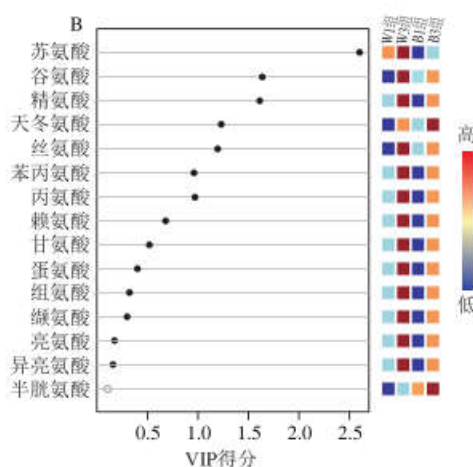
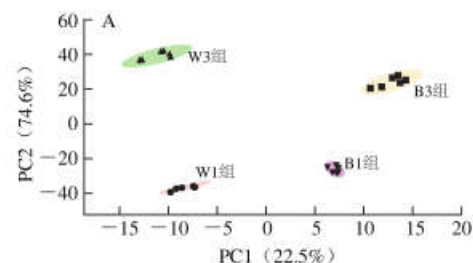
游离氨基酸在干腌火腿特定风味的形成中起着重要作用，按照呈味特性可分为鲜味、甜味和苦味3大类^[31]。本研究鲜味氨基酸有2种，甜味氨基酸有5种，苦味氨基酸有10种。鲜味氨基酸在诺邓黑猪火腿中的相对含量高于洋三元白猪火腿，B1和B3组火腿中的鲜味氨基酸分别占总游离氨基酸总量的（11.96±0.01）%和（11.05±0.01）%，而W1和W3组火腿中的鲜味氨基酸相对含量分别为（9.22±0.01）%和（9.46±0.01）%，差异显著（ $P<0.05$ ）。4组火腿各氨基酸的TAV均大于1，且含量多倍于其感觉阈值，对整体呈味特性有重要贡献。精氨酸的TAV最大，其次是谷氨酸、组氨酸和赖氨酸。有报道指出，谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸、组氨酸和天冬氨酸等对火腿的风味起着重要作用^[32]。谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸的含量影响火腿的鲜美程度^[33]。亮氨酸与火腿的苦味相关，赖氨酸、蛋氨酸呈味阈值低，对火腿滋味有重要作用。

肉品滋味不是由单一类氨基酸决定的，与食品中呈味氨基酸的组成和含量及阈值有关^[1]，不同种类游离氨基酸之间相互平衡和影响是决定滋味产生的关键^[34]。4组火腿中鲜味氨基酸主要有谷氨酸和天冬氨酸。Bermúdez等^[35]研究发现，干腌火腿的鲜味与谷氨酸和天冬氨酸有关，其组成和含量决定火腿的鲜美和可口程度；谷氨酸本身具有酸味，但和钠盐并存时可以提供强烈的鲜味^[36]，具有形成肉鲜味和缓冲咸与酸等味道的特殊功效^[37]。样品中谷氨酸含量高于天冬氨酸，是最主要的鲜味氨基酸，TAV较高，且大于1，对产品风味具有重要贡献，且具有一定的保健作用^[38-40]。甜味是一种主要特征味道，4组火腿样品中甜味氨基酸包括苏氨酸、丙氨酸、脯氨酸、丝氨酸和甘氨酸。丙氨酸在5类甜味氨基酸中含量最高，且TAV>1，对火腿滋味有重要贡献。4组火腿样品中苦味氨基酸在总氨基酸中相对含量最高，均超过60%，与Liu Shuyun等^[9]的研究结果相似。4组火腿中苦味氨基酸包括组氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、精氨酸和色氨酸。其中，亮氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸、缬氨酸和蛋氨酸与苦味高度相关^[41]。然而，游离氨基酸的过度积累与令人不快的苦味和酸味有关^[42]。

综上所述，不同游离氨基酸之间综合作用共同构成诺邓火腿特有滋味，3年火腿的游离氨基酸总量显著高于1年火腿（ $P<0.05$ ），W3组最高。B3组低于W3组，这可能是由于在传统自然熟化条件下，诺邓黑猪火腿失水快，

酶提前失活,提示需调控诺邓黑猪火腿熟化过程中的温湿度、风速等影响因素。

2.5 不同诺邓火腿中氨基酸的主成分分析



A.主成分分析图; B. PLS-DA模型得分图; C. PLS-DA模型置换验证图; D. 氨基酸聚类分析图。

图1 诺邓火腿多元统计分析图

Fig. 1 Multivariate statistical analysis of Nuodeng dry-cured hams

为了评价游离氨基酸含量能否反映不同品种和加工年份诺邓火腿的特征,进行多元统计学分析。由图1A、C可知,样本全部处于95%置信区间内,样本之间显示出良好的准确性和可预测性^[43]。变量投影重要性(variable importance in projection, VIP)用来评估哪些成分对区分不同年份和品种诺邓火腿有显著贡献,一般VIP>1认为有显著贡献。由图1B可知,丙氨酸、苯丙氨酸、丝氨酸、天冬氨酸、精氨酸、谷氨酸、苏氨酸的VIP大于1,表明这些物质是评价不同诺邓火腿的关键因素^[42]。由图1D可知,B1组和W1组火腿聚为1类,B3组和W3组火腿聚为另一类;3年火腿中氨基酸含量相似,且明显与1年火腿区分开。

2.6 不同诺邓火腿的味觉特征

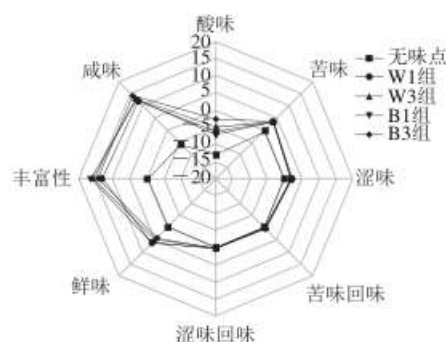


图2 诺邓火腿有效味觉指标雷达图

Fig. 2 Radar chart of effective taste attributes of Nuodeng dry-cured hams using electronic tongue

由图2可知,4组火腿的各项味觉指标均在无味点以上,均为有效味觉指标。诺邓火腿的突出味觉指标为酸味、苦味、涩味、鲜味、丰富性、咸味,其中咸味、鲜味、丰富性、酸味指标存在明显差异,丰富性指鲜味的回味,反映鲜味残留情况,又称持久度,是诺邓火腿显著的味觉指标。

4组火腿有效味觉之间存在差异。鲜味和咸味具有一定的相关性,鲜味越大,咸味越小,W1组鲜味最大、咸味最小,B3组则咸味最大、鲜味最小;丰富性和鲜味之间的规律不明显,W1组鲜味最大但丰富性最小,B1组鲜味和丰富性均较大;B1组和W1组咸、鲜味接近,均具有较大的鲜味和较小的咸味,B1组的丰富性强于W1组,W3组的咸鲜味、丰富性适中。4组火腿样品具有明显的苦味和涩味,但差异不明显,低浓度下的苦味反映了样品味道的丰富感,一般作为被测样品的复杂性、风味和丰富性等指标。酸味由小到大的顺序是B1组<W1组<W3组<B3组,W1和B1组的酸味接近且较小。

综上所述,4组火腿在苦、涩味方面差异不大,W3组的咸味、丰富性和酸味明显高于W1组,鲜味低于W1组。B3组酸味、鲜味高于B1组,而鲜味和丰富性均明显低于B1组。由于火腿的原料来源、加工年限等因素的不同,导致了诺邓火腿的味觉特征存在差异。



3 结论

对不同来源、不同年限诺邓火腿的理化性质、质构特性、游离氨基酸及其呈味特性与味觉特征进行分析,并利用TAV进行评价。结果表明:诺邓火腿从加工1年到3年,水分含量、pH值和非蛋白氮含量有明显变化,硬度和咀嚼性增加,B3组硬度最大;4组火腿氨基酸总量差异较大,氨基酸释放量可明显区分1年和3年火腿;诺邓火腿中主要呈味氨基酸为精氨酸、谷氨酸、组氨酸和赖氨酸;同时,电子舌结果显示,鲜味、丰富性和咸味是诺邓火腿重要且突出的味觉指标,鲜味和咸味具有一定的相关性,鲜味大的样品其咸味则较小,诺邓黑猪火腿滋味较为丰富。综上,不同来源和加工年限诺邓火腿味觉理化指标、特征差异较大,诺邓黑猪火腿滋味丰富,但加工至3年硬度、咸味过大,加工过程中要注意环境温度、湿度的控制。风味包括滋味和香味,本研究分析了氨基酸对火腿滋味的贡献,后续研究应聚焦于挥发性风味物质,并结合感官分析,从而更为全面系统地评价火腿的风味品质。

参考文献:

- [1] 布丽君,解华东,张晓春,等.游离氨基酸对10月龄荣昌猪猪肉滋味的影响研究[J].农产品加工,2016(11):29-31. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2016.11.009.
- [2] 党亚丽,张中建,闫小伟.金华火腿水溶物的滋味成分分析[J].食品工业科技,2013,34(9):82-85.
- [3] 赵改名,周光宏,柳艳霞,等.肌肉非蛋白氮和游离氨基酸在金华火腿加工过程中的变化[J].食品科学,2006,27(2):33-37.
- [4] NAGARAJ N S, SANTHANAM K. Effects of muscle proteases, endogenous protease inhibitors and myofibril fragmentation on postmortem aging of goat meat[J]. Journal of Food Biochemistry, 2006, 30(3): 269-291. DOI:10.1111/j.1745-4514.2006.00066.x.
- [5] 党喜军.诺邓火腿化学成分测定及表面微生物多样性研究[D].昆明:云南大学,2018:33-67.
- [6] 王馨蕊,史巧,刘毕琴,等.诺邓火腿加工过程中细菌群落的动态变化[J].食品工业科技,2021,42(2):83-89;98. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020030129.
- [7] 罗雨婷,吴宝森,谷大海,等.不同加工年份诺邓火腿粗肽的特征与抗氧化活性[J].肉类研究,2017,31(9):32-37. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201709006.
- [8] 吴宝森,谷大海,王桂瑛,等.诺邓火腿粗肽抗氧化活性及亚硝酸盐清除活性[J].肉类研究,2017,31(8):6-11. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201708002.
- [9] LIU Shuyun, WANG Guiying, XIAO Zhichao, et al. ¹H-NMR-based water-soluble low molecular weight compound characterization and free fatty acid composition of five kinds of Yunnan dry-cured hams[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 108: 174-182. DOI:10.1016/j.lwt.2019.04.080.
- [10] 江玉霞.金华火腿加工过程中蛋白质降解规律的研究[D].北京:中国农业大学,2005:12-13.
- [11] SEONG P N, PARK K M, KANG S M, et al. Effect of particular breed on the chemical composition, texture, color, and sensorial characteristics of dry-cured ham[J]. Asian Australasian Journal

- of Animal Sciences, 2014, 27(8): 1164-1173. DOI:10.5713/ajas.2013.13770.
- [12] 朱静静,张乔,吕志华,等.大河乌猪火腿加工过程中的质量变化[J].肉类工业,2019(2):27-30.
- [13] WU Weihuang, ZHOU Yang, WANG Guiying, et al. Changes in the physicochemical properties and volatile flavor compounds of dry-cured Chinese Laowo ham during processing[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44: e14593. DOI:10.1111/jfpp.14593.
- [14] SEONG P N, PARK K M, KANG S M, et al. Effect of particular breed on the chemical composition, texture, color, and sensorial characteristics of dry-cured ham[J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2014, 27(8): 1164-1173. DOI:10.5713/ajas.2013.13770.
- [15] 李泽众,陈红,李世俊,等.云南三川火腿加工过程中的理化性质变化[J].肉类研究,2017,31(11):1-6. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201711001.
- [16] 范露,冯牛,许嘉骏,等.宣恩火腿蛋白质降解规律[J].食品工业科技,2019,40(23):42-46;53. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.23.007.
- [17] SUBRAMANIAN S A, KANG D R, BELAL S A, et al. Meat quality and physicochemical trait assessments of berkshire and commercial 3-way crossbred pigs[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2016, 36(5): 641-649. DOI:10.5851/kosfa.2016.36.5.641.
- [18] DEL OLMO A, CALZADA J, GAYA P, et al. Proteolysis, texture, and sensory characteristics of serrano hams from duroc and large white pigs during dry-curing[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(3): e416-e424. DOI:10.1111/1750-3841.12058.
- [19] ZHOU Yang, ZHOU Changyu, PAN Daodong, et al. The effect of sodium chloride levels on the taste and texture of dry-cured ham[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14: 2646-2655. DOI:10.1007/s11694-020-00511-3.
- [20] RUIZ-RAMÍREZ J, ARNAU J, SERRA X, et al. Effect of pH₂₄, NaCl content and proteolysis index on the relationship between water content and texture parameters in *Biceps femoris* and *Semimembranosus* muscles in dry-cured ham[J]. Meat Science, 2006, 72(2): 185-194. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.06.016.
- [21] SORIANO A, RUIZ GARCIA A, GOMEZ E, et al. Lipolysis, proteolysis, physicochemical and sensory characteristics of different types of Spanish ostrich salchichon[J]. Meat Science, 2007, 75(4): 661-668. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.09.015.
- [22] 周洋,刘姝韵,谷大海,等.宣威火腿加工过程中的蛋白质降解规律[J].现代食品科技,2018,34(8):57-63;74. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.8.009.
- [23] ZHOU Ganghong, ZHAO Gaiming. Biochemical changes during processing of traditional Jinhua ham[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 114-120. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.03.028.
- [24] 赵改名,齐胜利,周光宏.干腌火腿中的滋味物质及其形成机制[J].肉类研究,2004,18(2):43-45.
- [25] CARERI M, MANGIA A, BARBIERI G, et al. Sensory property relationships to chemical data of Italian-type dry-cured ham[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(5): 968-972. DOI:10.1111/j.1365-2621.1993.tb06090.x.
- [26] ZHUANG Kejin, WU Na, WANG Xichang, et al. Effects of 3 feeding modes on the volatile and nonvolatile compounds in the edible tissues of female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Food Science, 2016, 81(4): S968-S981. DOI:10.1111/1750-3841.13229.
- [27] TOLDRÁ F, ARISTOY M C, FLORES M. Contribution of muscle aminopeptidases to flavor development in dry-cured ham[J]. Food



- Research International, 2000, 33(3/4): 181-185. DOI:10.1016/S0963-9969(00)00032-6.
- [28] ZHAO Gaiming, ZHOU Guanghong, TIAN Wei, et al. Changes of alanyl aminopeptidase activity and free amino acid contents in *Biceps femoris* during processing of Jinhua ham[J]. Meat Science, 2005, 71(4): 612-619. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.05.006.
- [29] ARMERO E, BARBOSA J A, TOLDRA F, et al. Effects of the terminal sire type and sex on pork muscle cathepsins (B, B+L and H), cysteine proteinase inhibitors and lipolytic enzyme activities[J]. Meat Science, 1999, 51(2): 185-189. DOI:10.1016/S0309-1740(98)00124-7.
- [30] ROSELL C M, TOLDRA F. Comparison of muscle proteolytic and lipolytic enzyme levels in raw hams from Iberian and White pigs[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1998, 76(1): 117-122. DOI:10.1002/(SICI)1097-0010(199801)76:1<117::AID-JSFA910>3.0.CO;2-6.
- [31] ZHOU Changyu, WANG Ying, CAO Jinxuan, et al. The effect of dry-cured salt contents on accumulation of non-volatile compounds during dry-cured goose processing[J]. Poultry Science, 2016, 95(9): 2160-2166. DOI:10.3382/ps/pew128.
- [32] SÁNCHEZ MAINAR M, WECKX S, DE VUYST L, et al. Alternatives for nitrate and nitrite in fermented meat products: potential contribution of the nitric oxide synthase activity of coagulase-negative staphylococci[J]. Archives of Public Health, 2014, 72(S1): O4. DOI:10.1186/2049-3258-72-S1-O4.
- [33] LI He, LI Chunbao, XU Xinglian, et al. Effects of illumination and packaging on non-heme iron and color attributes of sliced ham[J]. Meat Science, 2012, 91(4): 521-526. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.03.008.
- [34] KUBOTA S, ITOH K, NIIZEKI N, et al. Organic taste-active components in the hot-water extract of yellowtail muscle[J]. Food Science and Technology Research, 2002, 8(1): 45-49. DOI:10.3136/fstr.8.45.
- [35] BERMÚDEZ R, FRANCO D, CARBALLO J, et al. Influence of muscle type on the evolution of free amino acids and sarcoplasmic and myofibrillar proteins through the manufacturing process of Celta dry-cured ham[J]. Food Research International, 2014, 56: 226-235. DOI:10.1016/j.foodres.2013.12.023.
- [36] 邹思琪, 刘登勇, 王笑丹, 等. 食品中呈鲜味物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 333-339. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020020157.
- [37] KAWAI M, UNEYAMA H, MIYANO H. Taste-active components in foods, with concentration on umami compounds[J]. Journal of Health Science, 2009, 55(5): 667-673. DOI:10.1248/jhs.55.667.
- [38] MONTORO-GARCÍA S, ZAFRILLA-RENTERO M P, CELDRAN-DE HARO F M, et al. Effects of dry-cured ham rich in bioactive peptides on cardiovascular health: a randomized controlled trial[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 38: 160-167. DOI:10.1016/j.jff.2017.09.012.
- [39] MARTÍNEZ-SÁNCHEZ S M, MINGUELA A, PRIETO-MERINO D, et al. The effect of regular intake of dry-cured ham rich in bioactive peptides on inflammation, platelet and monocyte activation markers in humans[J]. Nutrients, 2017, 9(4): 321. DOI:10.3390/nu9040321.
- [40] LIN Fengke, CAI Fei, LUO Binsheng, et al. Variation of microbiological and biochemical profiles of Laowo dry-cured ham, an indigenous fermented food, during ripening by GC-TOF-MS and UPLC-QTOF-MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(33): 8925-8935. DOI:10.1021/acs.jafc.0c03254.
- [41] SFORZA S, GALAVERNA G, SCHIVAZAPPA C, et al. Effect of extended aging of parma dry-cured ham on the content of oligopeptides and free amino acids[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(25): 9422-9429. DOI:10.1021/jf061312+.
- [42] PÉREZ-SANTAESCOLÁSTICA C, CARBALLO J, FULLADOSA E, et al. Effect of proteolysis index level on instrumental adhesiveness, free amino acids content and volatile compounds profile of dry-cured ham[J]. Food Research International, 2018, 107: 559-566. DOI:10.1016/j.foodres.2018.03.001.
- [43] YANG Luan, DAI Bona, AYED C, et al. Comparing the metabolic profiles of raw and cooked pufferfish (*Takifugu flavidus*) meat by NMR assessment[J]. Food Chemistry, 2019, 290: 107-113. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.03.128.