不同宰后时间下调理猪肉片品质特性及挥发性风味物质比较

高子武[1]，王恒鹏[1,2]，陈胜姝[1]，吴鹏[1,2]，屠明亮[1]，孟祥忍[1,2]

（1.扬州大学旅游烹饪学院，江苏扬州 225127）（2.江苏省淮扬菜工程中心，江苏扬州 225127）

摘要：为研究宰后时间对调理猪肉片品质特性及挥发性风味物质的影响，分别对宰后 12、24、36、48 h 的猪肉片进行上浆处理，测定调理猪肉片滑油前后的烹调损失率、pH、色差、水分、蛋白质、脂肪含量、质构特性、微观结构及挥发性风味成分。结果表明，不同宰后时间对调理猪肉片滑油后的烹调损失率有显著影响（p<0.05），宰后 24 h 时的调理猪肉片滑油后烹调损失最低，仅为 8.14%。宰后初期猪肉制作的调理猪肉片 pH 持续下降，至宰后 36 h 时开始上升。宰后 24、36 h 时制作的调理猪肉片在色泽、营养成分和质构特性方面均呈现出较好状态，亮度（L^*）值、水分含量、弹性、咀嚼性较佳。微观结构显示宰后 24 h 时的调理猪肉片在滑油前后肌束间隙大，肌纤维结构更为疏松，宏观表现为嫩度最好。不同宰后时间下调理猪肉片滑油前后共检测出 71 种挥发性风味物质，其中宰后 24、36 h 的调理猪肉片滑油后醛类物质相对含量分别高达 76.43%、74.27%。综合以上指标，充分显示宰后 24~36 h 范围内的猪肉更适宜进行调理猪肉片的加工。

关键词：宰后时间；上浆；调理猪肉片；品质；挥发性风味

文章篇号：1673-9078(2020)11-263-272 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0525

Comparison of Quality Characteristics and Volatile Flavor Compounds of Pork Slices at Different Post-slaughter Time

GAO Zi-wu[1], WANG Heng-peng[1,2], CHEN Sheng-shu[1], WU Peng[1,2], TU Ming-liang[1], MENG Xiang-ren[1,2]

(1.College of Tourism and Cooking, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

(2.Huaiyang Cuisine Engineering Center, Yangzhou 225127, China)

Abstract: In order to investigate the effect of post-slaughter time on the quality characteristics and volatile flavor compounds of pork slices, the pork slices were starched at 12, 24, 36 and 48 h after slaughter, respectively, and the cooking loss rate, pH, color difference, moisture, protein, fat content, texture properties, microstructure and volatile flavor components were detected before and after the treatment. The results showed that the cooking loss rate of pork slices was significantly affected by the post-slaughter time (p<0.05). The cooking loss of pork slices was the lowest (8.14%) after 24 h slaughter. The pH of processed pork slices decreased continuously at the beginning of slaughter and began to rise after 36 h slaughter. The processed pork slices produced after 24 and 36 h slaughter showed good quality that the characteristics of color, nutrition, texture, brightness (L^*) value, moisture content, elasticity and chewiness were acceptable. Results of microstructure showed that after 24 h slaughter, the gap of muscle bundle was bigger, the muscle fiber structure was looser and the tenderness was the best. Seventy-one kinds of volatile flavor compounds were detected before and after conditioning pork slices with different postmortem time, and the relative contents of aldehydes were 76.43% and 74.27% respectively after 24 and 36 h slaughter. The results showed that the pork from after 24 to 36 h slaughter was more suitable for the processing of prepared pork slices.

引文格式：

高子武,王恒鹏,陈胜姝,等.不同宰后时间下调理猪肉片品质特性及挥发性风味物质比较[J].现代食品科技,2020,36(11):263-272

GAO Zi-wu, WANG Heng-peng, CHEN Sheng-shu, et al. Comparison of quality characteristics and volatile flavor compounds of pork slices at different post-slaughter time [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 263-272

收稿日期：2020-06-05

基金项目：江苏省社会科学基金项目（17GLD021）；扬州市“绿扬金凤计划”领军人才资助项目；扬州大学“青蓝工程”资助项目

作者简介：高子武（1996-），男，硕士在读，研究方向：烹饪科学与动物源性食品营养加工

通讯作者：孟祥忍（1976-），男，博士，副教授，研究方向：烹饪科学与动物源性食品营养加工

Key words: post-slaughter time; sizing; conditioned pork slices; quality; volatile flavor

冷却排酸猪肉在营养、口感及安全性上均优于热鲜肉和冷冻肉，微生物生长繁殖在宰后成熟过程中受到抑制，且自溶酶使部分肌浆蛋白分解为肽和氨基酸[1]，因此适当的宰后成熟时间可有效改善肉的品质。随着生活节奏不断加快，人们更加偏向于既方便又营养的食物，因此调理猪肉制品逐渐走向市场。调理猪肉制品是指以鲜、冻猪肉为原料，经适当加工后以包装或散装形式于低温条件下储存，需在食用前简单加工的产品，其本质是非即食类预制半成品[2]。现阶段国内外关于调理猪肉制品的研究主要集中在工艺优化及贮藏保鲜方面，高可蒙[3]以猪里脊为原料探讨了调理猪肉制品加工工艺及气调包装在冷藏调理猪里脊肉制品中的应用；崔跃慧等[4]将调理猪肉饼在不同温度条件下贮藏，利用 Arrhenius 方程建立了以 TVB-N 值和菌落总数为关键品质因子的调理猪肉饼货架期动力学模型；Jeannine Bonilla 等[5]研究了壳聚糖精油膜的化学特性及其对调理猪肉制品保鲜的影响。

近年来，中央厨房和餐食工业化逐渐成为热门话题，预上浆类调理肉制品研发已成为研究热点。在烹饪加工中，上浆是一种利用水淀粉浆膜包裹原料，淀粉浆膜受热率先糊化，有效减少原料内部水分流失，从而致其鲜嫩的传统技法[6]，也是调理肉制品制作的主要工艺手段之一。目前，以宰后成熟时间作为预上浆类调理猪肉片的加工时机，探究不同加工时机对调理猪肉片食用品质与挥发性风味物质的影响鲜有报道。本试验以不同宰后时间的三元猪背最长肌为研究对象，采用上浆工艺制作调理猪肉片，对其滑油前后的烹调损失率、pH、色泽、水分、蛋白质、脂肪含量、质构特性、微观结构及挥发性风味物质进行分析，探究调理猪肉片的最适加工时机，以期为相关调理预制品的科学加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

三元杂交猪（杜洛克猪×长白猪×大白猪）背最长肌，扬州鼎鑫食品有限公司；小麦淀粉，南京甘汁园糖业有限公司；食盐，中盐长江盐化有限公司；非转基因大豆油，中粮东海粮油工业有限公司；蒸馏水、浓 H_2SO_4、HCl、NaOH、石油醚、4%戊二醛等均为分析纯，国药集团化学试剂有限公司。

GZ008 型电热恒温鼓风干燥箱，广东佰辉仪器有限公司；TMS-Pro 型质构仪，美国 F.T.C.公司；WK2102 型恒温油炸炉，美的电热电器制造有限公司；pH-STAR 测定仪，北京布拉德科技发展有限公司；NH310 型色差仪，深圳市三恩科技有限公司；KDN-04A 型全自动凯氏定氮仪，上海昕瑞仪器仪表有限公司；FA1004（1/1000）电子天平，浙江力辰仪器科技有限公司；JB-P5 型包埋机，南京赛维斯生物科技有限公司；RM2016 型病理切片机，上海徕卡仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计

选用饲养条件相同，活体质量为（95±5）kg 的三元猪（杜洛克猪×长白猪×大白猪）4 头，按照 GB/T 19477-2018 方法进行屠宰[7]，从胴体取出背最长肌，剔除脂肪和筋膜组织，在 0~4 ℃环境下将其挂起，分别成熟 12、24、36、48 h 后作为试验材料。将不同宰后时间的猪背最长肌按垂直肌纤维方向切割成规格为 4×4×0.3 cm^3 的肉片，盐与肉片质量比为 1:40，腌渍 10 min。水与淀粉质量比为 1:1，混合后将匀浆机调至 5000 r/min，匀浆 3 min。水淀粉与猪肉片质量比为 10:1，对猪肉片进行上浆处理，使表面均匀包裹一层薄质浆液，0~4 ℃的环境中静置 30 min。控制料油比为 1:3，恒温油炸炉中油温控制在 90 ℃，放入调理猪肉片，滑油 60 s，取出，用滤纸吸干表面油分冷却至室温。

1.2.2 烹调损失率

先将 4×4×0.3 cm^3 规格的猪肉片上浆，静置 30 min 后取出称重（W_1），滑油处理后取出，滤纸吸掉表面油分，称重（W_2），计算其烹调损失[8]。

$$烹调损失率(\%)=\frac{(W_1-W_2)}{W_1}\times 100\%$$

1.2.3 pH

将校准好的pH计探头插入调理猪肉片中心部位，直接读数，每个样品测定 3 次，每次测定后用双蒸水冲洗 pH 计针头并校准。

1.2.4 色泽

使用色差仪测定滑油前后调理猪肉片表面的 L^*、a^*、b^*值。L^*值表示亮度；a^*值表示红度；b^*值表示黄度。每组样品重复测定 3 次。

1.2.5 营养成分

直接干燥法参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》[9]、凯氏定氮法参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》[10]、酸水解法参照 GB 5009.6-2016《食

品中脂肪的测定》[11]。

1.2.6 质构特性

用取样器分别截取滑油前后的调理猪肉片，规格为 3×3×0.3 cm^3，取样时避开筋膜。用质构仪对样品的质构特性中的硬度、弹性、咀嚼性进行测定。选用 P/5 柱形探头，测前速度 60 mm/min，测试速度 120 mm/min，测试形变量 40%，触发力 0.04 N。每组测定样品数量至少 3 个。

1.2.7 微观结构

参照周荣新[12]的方法修改，将调理猪肉片切成 2×2×3 mm^3 的小块，4 ℃环境中固定于 4%的戊二醛溶液中 24 h。取出已固定好的调理猪肉片，分别进行组织脱水、包埋、切片、烤片、He 染色和封片等步骤的处理过程，采用 200 倍光学显微镜观察样本切片，每个样本切片拍照角度至少 3 个。

1.2.8 挥发性风味物质

根据傅丽等[13]的方法稍加修改，分别称取切碎混匀的调理猪肉片样品 2 g，放于 10 mL 固相微萃取小瓶中，加入 1 mL 饱和 NaCl 溶液，封口膜封住瓶口。60 ℃水浴，平衡 40 min 后将经老化的 SPME 头插入封口顶空采样，吸附 40 min 后拔出后立即将萃取针头插入气相色谱仪进样口，250 ℃下解析 5 min。GC-MS 检测色谱条件：色谱柱为 DB-Wax，载气为氦气。流速为 1.0 mL/min，进样口温度为 250 ℃；质谱条件：离子源温度 240 ℃；电离方式 EI+；电子能量 70 eV；灯丝电流 150 μA；质量扫描范围：30~450 *m/z*。通过系统自带的图书馆数据库中已有的质谱峰进行比较分析，根据其拟合度辨别挥发性风味的成分，并用峰面积归一化法计算其相对含量。

1.3 数据处理

实验平行 3 次，每个平行至少重复 3 次，采用 Excel 2010 及 SPSS 22.0 对测定结果进行统计分析，测得数据用平均值±标准差表示，差异显著水平 α 为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同宰后成熟时间调理猪肉片滑油后的烹调损失率

烹调损失一般是由于食物中的水分和可溶性物质与其固形物失去结合而流失或者挥发而导致的质量降低[14]。经上浆处理的猪肉片表面有一层保护薄膜，在滑油过程中一定程度上减少了猪肉片水分及可溶性物质的流失。由图 1 可知，宰后 12~36 h 的调理猪肉片滑油后烹调损失率差异显著（p<0.05），且随成熟时间的延长呈先降低后上升趋势，宰后 36 h 时制作的调理猪肉片滑油后烹调损失率最高，为 15.95%，宰后 24 h 时达到最低，仅为 8.14%。宰后 12~24 h 的调理猪肉片在滑油后的烹调损失率逐渐降低，是因为成熟过程中肌原纤维蛋白降解导致肌纤维间隙变大[15]，同时浆液中低浓度的盐分产生透析作用，使蛋白质分子吸水膨胀，从而使猪肉片与淀粉浆液结合更加紧密，滑油时表面淀粉层不易脱落，进一步减少调理猪肉片内部水分及其它营养素的损失。宰后 24~48 h 的调理猪肉片烹调损失率有所上升，显示随着宰后成熟时间的继续延长，猪肉肌纤维结构逐渐变得松散、不规则[15]，保水能力下降，猪肉片结合淀粉浆液能力减弱，致使表面淀粉层在滑油过程中发生部分脱离，猪肉片直接与高温油脂接触，进一步加速其内部水分及营养素的流失。

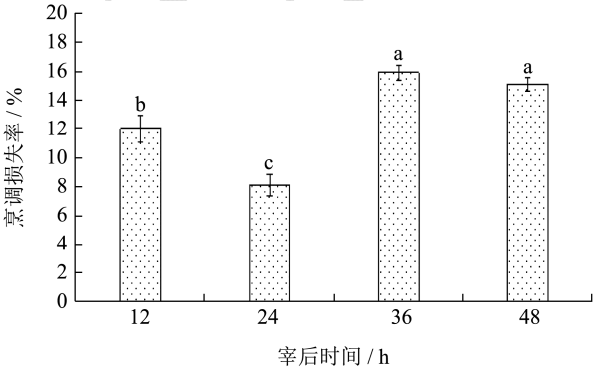


图 1 不同宰后成熟时间对调理猪肉片滑油后烹调损失率的影响

Fig.1 Effect of different post-slaughter ripening time on cooking loss rate after conditioning pork slices with greasy oil

注：不同字母表示差异显著（p<0.05）。

2.2 不同宰后成熟时间调理猪肉片的 pH

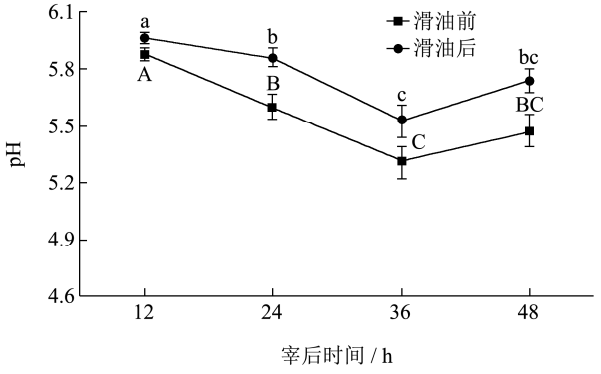


图 2 不同宰后成熟时间对调理猪肉片 pH 的影响

Fig.2 Effects of different post-slaughter ripening time on the pH of prepared pork slices

注：不同字母表示差异显著（p<0.05）。

表 1 不同宰后成熟时间对调理猪肉片色泽的影响

Table 1 Effects of different post-slaughter ripening time on the color of prepared pork slices

宰后时间	L^*		a^*		b^*	
	滑油前	滑油后	滑油前	滑油后	滑油前	滑油后
12 h	28.62±1.11^{b}	35.97±0.15^{b}	0.95±0.31^{c}	1.36±0.57^{a}	3.11±0.11^{a}	4.33±0.18^{a}
24 h	33.33±1.08^{a}	40.60±0.78^{a}	1.11±0.15^{c}	0.51±0.05^{b}	1.29±0.32^{bc}	2.81±0.16^{c}
36 h	27.55±0.52^{b}	41.13±0.64^{a}	2.03±0.21^{b}	0.62±0.14^{b}	0.98±0.10^{c}	3.34±0.13^{bc}
48 h	26.59±0.46^{b}	34.98±0.85^{b}	3.36±0.24^{a}	1.57±0.44^{a}	1.70±0.05^{b}	3.82±0.41^{ab}

注：同列字母不同表示差异显著(p<0.05)。表 2、3 同。

表 2 不同宰后成熟时间对调理猪肉片营养成分的影响

Table 2 Effects of different post-slaughter ripening time on the nutritional ingredient of conditioned pork slices

宰后时间	水分%		蛋白质%		脂肪%	
	滑油前	滑油后	滑油前	滑油后	滑油前	滑油后
12 h	72.77±0.12^{a}	65.87±0.84^{b}	13.14±0.27^{a}	9.27±0.65^{a}	4.57±0.06^{b}	7.43±0.52^{b}
24 h	68.90±0.21^{c}	67.03±1.02^{a}	12.50±0.36^{b}	8.07±0.35^{b}	4.60±0.36^{b}	8.30±0.32^{b}
36 h	69.43±0.03^{b}	67.60±0.61^{a}	12.37±0.12^{b}	8.43±0.64^{ab}	4.87±0.06^{ab}	8.40±0.10^{b}
48 h	66.80±0.06^{d}	63.85±0.62^{c}	12.01±0.15^{c}	8.10±0.36^{b}	5.40±0.44^{a}	9.17±0.15^{a}

pH 是衡量猪肉品质的重要指标之一，pH 过高或过低都会产生劣质猪肉，过高易形成 DFD（Dark，Firm and Dry）肉，过低易形成 PSE（Pale Soft Exudative）肉[16]。由图 2 可知，随着宰后成熟时间的延长，调理猪肉片在滑油前的 pH 呈先下降后上升趋势，宰后成熟初期糖酵解使得肌糖原转化成乳酸导致 pH 不断降低[16,17]，随后猪肉中的内源酶和微生物分泌物开始分解肌肉蛋白质，将其降解成多肽和氨基酸，并释放碱性基团[17]，使得 pH 逐步升高。滑油后的调理猪肉片 pH 均高于滑油前猪肉，主要是滑油受热后猪肉蛋白质结构的化学键被破坏从而酸性基团减少所致[18]。

2.3 不同宰后成熟时间调理猪肉片的色泽

色泽是评价猪肉食用品质的关键指标，对影响消费者的食欲起重要作用。猪肉色泽的变化主要与猪肉中肌红蛋白的含量及状态有关[19]。研究表明，亮度(L^*)值与猪肉保水性密切相关，保水性下降会使肌细胞内汁液流出至肉片表面，一定范围内会增加猪肉片光泽度[20]。由表 1 可知，滑油前调理猪肉片的 L^*值在宰后 24~48 h 过程中逐渐减小，是因为随着宰后成熟时间的增加，调理猪肉片中蛋白质水解破坏了肌纤维结构，猪肉保水性持续下降，从而稀释调理猪肉片表面淀粉浆液造成的。宰后 36 h 时，滑油后的调理猪肉片 L^*值最大，为 41.13，此时猪肉片洁白明亮，色泽最佳。红度（a^*）值主要与肌肉中酶促反应、肌红蛋白含量及其氧化状态有关[21]。随着宰后成熟时间延长，调理猪肉片滑油前 a^*值显著增大（p<0.05），可能是由于肌肉中脱氧肌红蛋白经氧化变成氧合肌红蛋白，这与黄明焜[22]等研究结果基本一致。滑油后的调理猪肉片 a^*值呈先减小后增大趋势（p<0.05），在滑油过程中，宰后 12~36 h 的调理猪肉片与表面淀粉浆液贴合紧密，淀粉糊化后会覆盖部分肌红蛋白，降低其氧化速度，从而 a^*值变小。宰后 36~48 h 过程中，由于猪肉片内部水分流失较多，其在滑油时发生脱浆现象则加速了肌红蛋白的氧化，导致 a^*值增大。b^*值表示黄度，对于调理猪肉片来说 b^*值越小肉色越好。表 1 中不同宰后成熟时间调理猪肉片在滑油前与滑油后的 b^*值均有显著差异（p<0.05），且分别在宰后 36 h 与 24 h 时达最小值。

2.4 不同宰后成熟时间调理猪肉片的营养成分

由表 2 可知，不同宰后成熟时间调理猪肉片滑油前后的水分含量均有显著差异（p<0.05），总体上看，不同宰后成熟时间下调理猪肉片滑油后的水分含量均低于其滑油前。成熟初期，猪肉蛋白在酶的作用下发生分解[23]，水分容易流失，成熟中后期因在冷却环境中猪肉表面易形成干油膜[24]，与调理猪肉片表面淀粉浆液层相互作用，可在一定程度上抑制水分流失。调理猪肉片在滑油前的水分含量随宰后成熟时间延长呈波动下降趋势，主要因肌肉中水分不断析出并蒸发所致。滑油后的调理猪肉片蛋白质含量随猪肉成熟时间的延长呈缓慢降低趋势，并且均低于滑油前，可能是因为加热初期部分可溶性蛋白流出，随着滑油时间的延长，调理猪肉片表面淀粉层糊化完全，有效减缓了

该类蛋白质的溶出。不同宰后成熟时间下的调理猪肉片在滑油前后脂肪含量均呈现逐步上升的趋势，滑油后的调理猪肉片脂肪含量均较滑油前高，主要与接触油脂有关。

2.5 不同宰后成熟时间调理猪肉片的质构特性

表 3 不同宰后成熟时间对调理猪肉片质构特性的影响

Table 3 Effects of different post-slaughter ripening time on texture characteristics of prepared pork slices

宰后时间	硬度/N		弹性/mm		咀嚼性/mJ	
	滑油前	滑油后	滑油前	滑油后	滑油前	滑油后
12 h	168.73±8.32^{ab}	135.30±6.05^{c}	1.13±0.17^{b}	1.27±0.16^{b}	93.45±6.14^{a}	134.95±8.17^{a}
24 h	182.57±10.75^{a}	154.55±8.30^{b}	1.23±0.15^{b}	1.37±0.04^{a}	89.57±8.22^{ab}	121.95±7.39^{b}
36 h	163.50±9.62^{ab}	159.97±6.43^{b}	1.54±0.22^{a}	1.52±0.07^{a}	75.23±9.14^{ab}	110.00±9.74^{c}
48 h	145.37±4.08^{b}	170.63±9.69^{a}	1.03±0.08^{b}	1.50±0.19^{a}	67.10±2.20^{b}	126.07±8.64^{b}

嫩度是评价肉类食用品质的关键指标之一[25]，质构特性中硬度、弹性及咀嚼性均可直接反应调理猪肉片的嫩度。宰后成熟过程中，滑油前的调理猪肉片硬度先增大再减小，宰后 24 h 时达到最大值 182.57 N，可能是僵直期的猪肉中 ATP 含量快速下降，肌肉间伸缩性变差导致。宰后 24~36 h 时，滑油后的调理猪肉片硬度增长缓慢且差异不显著（p>0.05），可能因此阶段猪肉组织中蛋白酶活化使肌纤维发生酸性溶解，肌肉间结缔组织吸收外层浆液中的水分而膨胀，使得肌纤维排列紧密，滑油后质地更加紧实。在一定数值范围内，弹性越大，食用口感越好[26]。宰后 36 h 时，调理猪肉片滑油前后的弹性均达最大值，富有弹性，口感较好。宰后 36 h 和 48 h 时，滑油前的调理猪肉片有较低的咀嚼性，主要与随着宰后时间的延长，猪肉嫩度得到改善有关，且宰后 36 h 时，滑油后的调理猪肉片咀嚼性最低，仅为 110.00 mJ。综合硬度、弹性、咀嚼性等与嫩度直接相关的关键指标看，宰后 24、36 h 的调理猪肉片出显示较好的质构特性。

2.6 不同宰后成熟时间调理猪肉片的微观结构

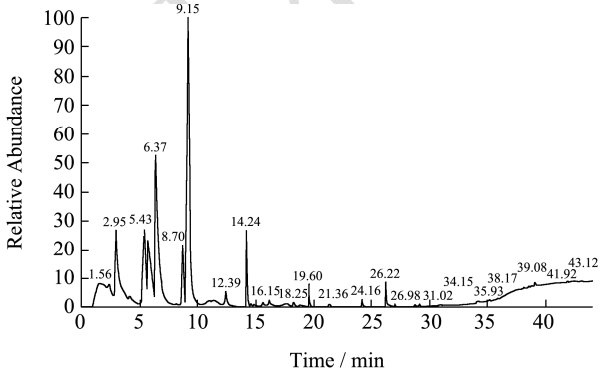


图 3 不同宰后成熟时间调理猪肉片挥发性风味物质的总离子流图

Fig.3 Total ion flow diagram of volatile flavor compounds in pork slices at different post-slaughter ripening time

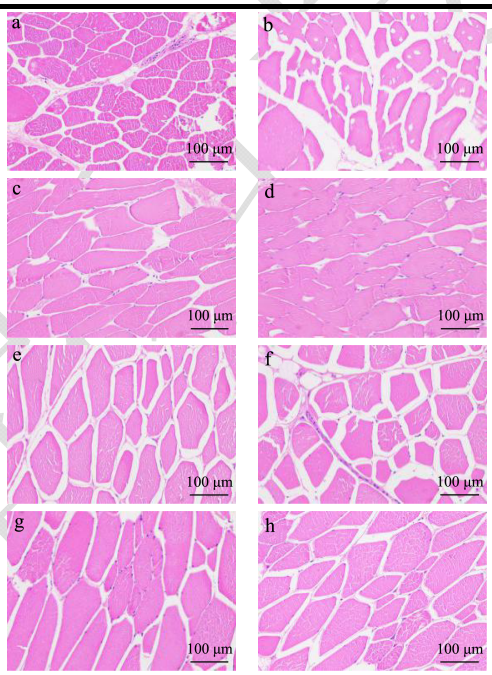


图 4 不同宰后成熟时间对调理猪肉片微观结构的影响（×200）

Fig.4 Effects of different post-slaughter ripening time on microstructures of prepared pork slices（×200）

注：a、b、c、d 分别表示宰后 12、24、36、48 h 的调理猪肉片滑油前的微观结构；e、f、g、h 分别表示宰后 12、24、36、48 h 的调理猪肉片滑油后的微观结构。

肌纤维结构是决定猪肉品质好坏的关键因素，肌束膜与肌纤维间隙决定肌纤维结构松散程度，直观反映肌肉嫩度[27]。通过对比不同宰后时间下调理猪肉片在滑油前后的微观结构可知，滑油后的调理猪肉片受热后肌纤维发生收缩，肌束膜与肌纤维明显脱离，肌束间隙显著变大。宰后 12 h 时，滑油前的调理猪肉片肌纤维结构排列紧密，肌束间隙较小，而宰后 24 h 制作的调理猪肉片肌肉纤维排列逐渐松弛，肌束间隙明显增大且肌纤维发生部分裂解，宏观表现为嫩度的改善。宰后 36 h 时，滑油前的调理猪肉片肌纤维膨胀明显，肌纤维直径变大，肌束间隙变小，可能是因为肌

动蛋白与肌球蛋白相互作用形成肌动球蛋白导致肌节缩短，而肌节作为肌肉收缩基本机能单位，肌节缩短则使肌纤维直径变大[28]。宰后 48 h 时，滑油前的调理猪肉片肌纤维断裂且排列更加紧密，形成类似凝聚网状的结构，主要与肌肉内部骨架蛋白发生降解有关[29]。宰后 12~24 h，滑油后的调理猪肉片肌束膜进一步撕裂，肌纤维结构更加疏松，而在宰后 36~48 h 时，滑油后的调理猪肉片肌纤维结构发生弯曲，肌束膜消失殆尽，肌束间隙变小，可能因为较长的成熟时间使得猪肉内部水分流失较多，以致在滑油时调理猪肉片表面淀粉层发生脱离，部分猪肉片暴露于高温中，肌纤维受热发生不规则膨胀所造成的。综合看来，微观结构显示宰后成熟 24 h 时制作的调理猪肉片嫩度最佳，这与质构特性中硬度、弹性、咀嚼性等指标相印证。

2.7 不同宰后成熟时间调理猪肉片的挥发性风味物质

风味物质的产生和脂肪酸氧化降解及氨基酸与糖类发生美拉德反应有关[30]。由表 4 所示，对提取的不同宰后成熟时间的调理猪肉片挥发性风味物质进行分析，鉴定出 71 种共同挥发性风味物质，其中滑油前的调理猪肉片鉴定出 54 种挥发性风味成分，滑油后鉴定出 42 种。滑油前的调理猪肉片挥发性风味成分共包含醛类 3 种、酯类 9 种、醇类 11 种、酮类 4 种、烃类 7 种、酸类 10 种及其它类 10 种。滑油后的调理猪肉片挥发性风味成分包括醛类 7 种、酯类 7 种、醇类 6 种、酮类 2 种、烃类 9 种、酸类 5 种及其他类 6 种。由图 5 可知，在检测出的不同宰后成熟时间调理猪肉片滑油前后的挥发性风味成分中，酯类和醛类含量远高于其它风味物质。

醛类是熟猪肉最丰富的挥发性成分，是判断肉类风味的关键指标[31]。图 5 中，宰后成熟 12~48 h 时，滑油后调理猪肉片的醛类含量均高于滑油前，主要因滑油时猪肉中的脂肪酸与蛋白质受热氧化分解所致[30,31]。滑油后的调理猪肉片醛类物质种类增加，与加工中油酸、亚油酸的氧化及氨基酸的 Strecker 反应有关[32]。己醛在滑油前后的调理猪肉片中所占比例较高，主要由亚油酸氧化产生，具有青草香味，这与崔艺燕等[33]研究结果一致。同时，辛醛、庚醛和壬醛赋予了调理猪肉片果香与脂香[34]。

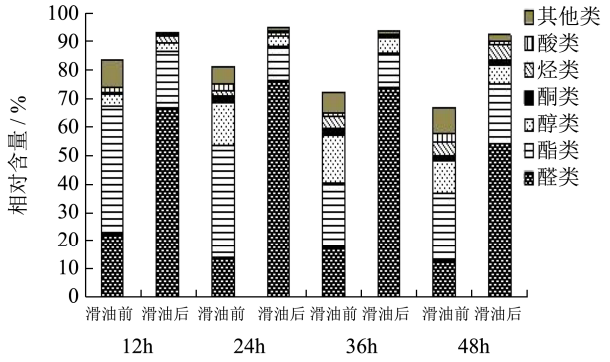


图 5 不同宰后成熟时间调理猪肉片挥发性成分相对含量

Fig.5 Relative volatile components content of prepared pork slices at different post-slaughter ripening time

由表 4 及图 5 可知，酯类是不同宰后成熟时间调理猪肉片滑油前含量最高的挥发性成分，主要由醇类与酸类的酯化反应产生，可赋予调理猪肉片油脂味[34]。醇类对肉类风味的形成也起着重要作用，尤其是不饱和醇阈值较低，对风味影响较大[35]，其中 1-辛烯-3-醇具有熟蘑菇香气，对风味有重要贡献。滑油后的醇类物质较滑油前有显著降低，宰后 36 h 的调理猪肉片在滑油前醇类含量高达 16.92%，而滑油后的最大值仅为 7.01%。不同宰后成熟时间调理猪肉片的不饱和烃类物质种类较多，主要来自脂肪酸烷氧自由基的均裂，且呈味阈值相对较低，气味较强烈[36]。在宰后成熟过程中，滑油前的调理猪肉片烃类含量持续增加，风味不断改善。酸类和酮类化合物在不同宰后成熟时间的调理猪肉片中含量相对较低，且这些挥发性物质阈值较高，对调理猪肉片香气成分的贡献较小。

其它类挥发性成分主要由醚类、吡啶类、杂环类等物质组成，主要由氨基酸和还原糖之间的美拉德反应和氨基酸的热降解产生[37]，且阈值较低，具有肉香，对调理猪肉片特征风味的形成起重要作用。滑油前的调理猪肉片中其它类挥发性成分均多于滑油后，可能是这些化合物在滑油加热时容易挥发造成的。噻吩类化合物是猪肉重要的呈味物质，能赋予其烤肉硫香味[38]。由表 4 可知宰后 24 h 的调理猪肉片滑油后噻吩类化合物含量高于其他宰后时间，说明其烤肉香味更为浓郁。结合不同宰后时间下调理猪肉片滑油前后挥发性风味成分种类及含量变化情况，己醛、乙醇、1-辛烯-3-醇、1,1-二氧-3-羟基-四氢噻吩等阈值较低且具有果香味的风味物质的相对含量在宰后 24、36 h 的调理猪肉片中较高。因此，从风味角度考虑，宜选择宰后 24、36 h 的猪肉来制作调理猪肉片。

表 4 不同宰后成熟时间调理猪肉片挥发性风味物质的含量

Table 4 Volatile flavor substance content of pork slices prepared at different post-slaughter ripening time

类别	化合物名称	保留时间/min	峰面积百分比/%							
			12 h		24 h		36 h		48 h	
			滑油前	滑油后	滑油前	滑油后	滑油前	滑油后	滑油前	滑油后
醛类	己醛	9.15	22.59	60.02	13.61	68.42	17.83	66.81	12.73	49.16
	壬醛	6.37	0.05	0.43	0.34	0.32	0.21	0.35	0.28	0.13
	反-2-辛烯醛	5.43	-	-	0.23	-	-	-	-	-
	（E）-2-癸烯醛	5.51	-	0.13	-	0.17	-	0.15	-	0.13
	苯甲醛	17.60	-	0.30	-	0.26	-	0.30	-	0.44
	庚醛	2.95	-	0.37	0.30	0.38	-	0.83	-	0.31
	辛醛	21.36	-	0.37	-	0.31	-	0.37	-	0.25
	戊醛	19.60	-	5.21	-	6.57	-	5.46	-	3.90
	小计		22.64	66.83	14.48	76.43	18.04	74.27	13.01	54.32
酯类	2'-己基-1,1'-双环丙基-2-辛酸甲酯	34.15	0.36	0.14	0.38	0.04	0.33	0.03	0.31	0.11
	2-辛基-环丙四烯酸甲基酯	27.11	0.17	-	-	-	-	-	-	-
	辛乙烯二醇单正十二烷基酯	18.25	1.95	-	-	-	-	-	-	-
	丙二醇甲醚醋酸酯	1.56	42.19	-	38.81	-	-	-	-	-
	2-乙基丁酸烯丙酯	21.33	-	-	0.12	-	-	0.03	-	-
	异胆酸乙酯	21.15	-	0.02	-	-	0.03	-	0.03	0.02
	1-甲氧基-2-乙酸丙酯	16.04	-	-	-	-	22.26	-	-	-
	E-2-己烯基苯甲酸酯	35.03	-	-	-	-	-	-	0.25	-
	甲酸庚酯	26.98	-	-	-	-	-	-	0.33	-
	乙酸甲氧基-2-丙酯	14.24	-	17.01	-	8.99	-	11.97	22.88	20.38
	正己酸乙烯酯	28.62	-	2.40	-	-	-	-	-	-
	环丙烷十四酸甲酯	29.13	-	-	-	0.65	-	-	-	0.18
	N-己酸乙烯酯	30.02	-	-	-	2.51	-	0.03	-	-
	小计		44.67	19.57	39.31	12.19	22.62	12.06	23.8	20.69
醇类	戊醇	1.35	0.19	0.07	0.09	0.13	0.45	0.3	0.18	0.08
	2-六烷醇	17.24	0.02	-	0.04	-	-	-	-	-
	乙醇	1.65	3.77	2.78	4.12	2.91	7.39	4.63	4.97	6.75
	3-乙基-3-戊醇	38.17	0.16	-	0.12	-	-	-	-	-
	1-辛烯-3-醇	39.08	0.09	0.57	0.26	0.20	0.04	-	0.27	0.03
	(S)-(+)-1-甲氧基-2-丙醇	35.93	-	-	9.59	-	-	-	-	-
	3-甲基-1,5-戊二醇	35.16	-	-	0.24	-	-	-	0.15	-
	3-甲基-2-己醇	31.06	-	-	0.34	-	0.27	-	-	-
	Z,Z-2,5-戊二烯-1-醇	14.84	-	-	-	-	0.47	-	0.02	0.04
	1-甲氧基-2-丙醇	12.39	-	-	-	-	7.78	-	5.37	-
	2-十六醇	23.04	-	0.05	-	-	0.52	-	0.39	-
	2-癸烯-1-醇	25.10	-	-	-	-	-	0.06	-	0.11
	小计		4.23	3.47	14.8	3.24	16.92	4.99	11.35	7.01
酮类	1-羟基-2-甲基-1-苯基-3-戊酮	12.55	-	-	0.27	-	-	-	-	-
	2-甲基-3-辛酮	7.24	-	-	1.98	-	-	-	-	-

转下页

接上页

	2,3-辛二酮	5.38	-	-	-	-	2.22	0.06	1.73	1.71
	α-乙酰丙酮	2.30	-	-	-	-		0.08		0.17
	小计		0	0	2.25	0	2.22	0.14	1.73	1.88
烃类	2-氢过氧庚烷	10.2	0.09	-	-	-	-	-	-	-
	r-2α*-甲基-3α*-丁烷	10.6	0.13	-	-	-	-	-	-	-
	(2S,2'S）-2,2'-双[1,4,7,10,13-五氧乙酰氯戊烷]	5.75	0.35	0.37	2.05	0.41	3.38	-	4.25	1.77
	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13-十四甲基-十七烷	3.06	-	0.07	-	-	0.12	-	0.48	0.08
	4-三氟乙酰氧十五烷	28.14	-	0.02	-	-	0.16	-	-	0.03
	3-三氟乙酰氧戊烷	28.29	-	-	-	-	0.14	-	0.16	-
	十二甲基-环己烷	39.15	-	1.14	-	0.75	-	0.09	-	2.92
	（2-甲基丙基）-环戊烷	30.17	-	0.11	-	-	-	-	-	-
	苯乙烯	24.16	-	0.20	-	-	-	0.26	-	-
	4-乙基-1,2-二甲基-苯	23.93	-	0.04	-	-	-	0.06	-	0.11
	1,3,6-三(三甲基硅基)-1,4-环己二烯	22.85	-	-	-	-	-	-	0.12	-
	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	24.13	-	-	-	0.19	-	-	-	-
	5-（丙烯-2-烯氧基）十五烷	25.88	-	-	-	-	-	-	-	0.17
	小计		0.57	1.95	2.05	1.35	3.8	0.41	5.01	5.08
酸类	3-羟基-2-甲基硫-3-苯基丙酸	11.36	0.25	-	-	-	-	-	-	-
	乙酸	12.27	0.24	-	-	-	-	0.08	0.34	0.22
	3-甲氧基硅烷-2-羧酸	36.89	0.18	-	0.98	-	0.12	-	-	-
	3-羟基月桂酸	19.37	0.15	-	-	-	-	-	-	-
	己酸	26.22	1.12	0.51	1.55	0.63	1.16	0.6	1.58	0.98
	三氟-1-甲基异丁基酯-乙酸	33.26	0.13	-	-	-	-	-	-	-
	2-辛基-甲基酯-环丙四烯酸	35.68	-	-	0.13	-	0.03	-	0.12	-
	3-羟基-十二酸	30.31	-	0.03	-	-	0.18	-	0.04	-
	L-精氨酸	22.05	-	-	-	-	-	-	0.68	-
	丁酸	39.12	-	-	-	-	-	0.20	0.28	0.16
	2-苯乙酯,己酸	14.77	-	-	-	0.14	-	-	-	-
	小计		2.07	0.54	2.66	0.77	1.49	0.88	3.04	1.36
其他类	12-甲基-(2-辛基环丙基)	8.91	1.39	-	-	-	-	-	-	-
	八甘醇单十二烷基醚	41.92	0.04	0.52	2.06	-	3.21	-	-	0.91
	丙二醇甲醚	5.68	7.87	-	-	-	-	-	-	-
	2,5-氟-β,3-二羟基-正甲基-苯乙胺	42.08	0.14	-	1.23	-	-	-	2.23	0.08
	1-甲基己基-过氧化氢	42.37	-	-	0.07	-	0.20	-	-	-
	1,1-二氧-3-羟基-四氢噻吩	16.15	-	0.08	0.07	0.26	0.06	0.20	0.05	-
	4-三氟乙酰氧吡啶	40.55	-	-	0.70	-	-	-	-	-
	四乙酰基-d-木酮腈	43.12	-	0.51	1.51	0.31	3.78	0.84	3.59	0.96
	1-半乳糖	40.06	-	-	-	-	0.16	0.18	0.05	0.07
	辛乙二醇单十二烷基醚	35.88	-	-	-	0.31	-	-	2.85	-
	小计		9.44	1.11	5.64	0.88	7.41	1.22	8.77	2.02

3 结论

猪肉在0~4 ℃环境下宰后成熟12~48 h的过程中，调理猪肉片滑油前后的烹调损失率、pH、色差、营养成分、质构特性、微观结构及挥发性风味物质均有显著变化（p<0.05）。宰后12~36 h的调理猪肉片滑油前后pH均呈下降趋势，且宰后24 h的调理猪肉片滑油后烹调损失率最低。色泽方面，调理猪肉片滑油前后的亮度（L^*）值分别在宰后24 h和36 h时达到最大，宰后24 h的调理猪肉片滑油后的红度（a^*）值、黄度（b^*）值均为最小。从营养成分和质构特性分析，宰后36 h的调理猪肉片滑油后水分含量最高、咀嚼性最小，弹性最大，说明此时调理猪肉片口感较佳。微观结构显示，宰后24 h的调理猪肉片肌肉纤维排列最为松弛，肌束间隙明显增大且肌纤维发生裂解，宏观表现为嫩度改善。综合不同宰后时间下调理猪肉片滑油前后挥发性风味成分看，宰后24、36 h的调理猪肉片滑油后分别检测出醛类、不饱和烃类及杂环类等主要呈味风味化合物的种类及含量较高于其他宰后时间，说明猪肉宰后24~36 h更有利于调理猪肉片风味物质的形成。因此，可推荐宰后24~36 h范围内的猪肉进行调理猪肉片的加工。

参考文献

[1] 冼理权,董小英,唐胜球,等.冷鲜肉保水性的研究进展[J].广东畜牧兽医科技,2014,39(1),4-6
XIAN Li-quan, DONG Xiao-ying, TANG Sheng-qiu, et al. Research progress on water retention of chilled meat [J]. Guangdong Animal Husbandry and Veterinary Science and Technology, 2014, 39(1): 4-6

[2] 周光宏,罗欣,徐幸莲,等.肉品加工学[M].北京:中国农业出版社,2009:3
ZHOU Guang-hong, LUO Xin, XU Xing-lian, et al. Meat Processing [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2009: 3

[3] 高可蒙.调理猪里脊肉制品的技术研究[D].合肥:安徽农业大学,2015
GAO Ke-meng. Study on the technology of conditioning pork tenderloin products [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2015

[4] 崔跃慧,范海潇,王甜,等.不同贮藏温度下调理猪肉饼货架期预测模型的建立[J].核农学报,2018,32(12):2355-2362
CUI Yue-hui, FAN Hai-xiao, WANG Tian, et al. Establishment of shelf life prediction model of pork cake under different storage temperature [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2018. 32 (12): 2355-2362

[5] Bonilla J, Vargas M, Atares L, et al. Effect of chitosan essential oil films on the storage-keeping quality of pork meat products [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(8): 2443-2450

[6] 李越.猪肉片上浆工艺优化及短期放置品质变化的研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2017
LI Yue. Study on sizing process optimization and short-term quality change of pork slices [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2017

[7] GB/T 17236-2019,禽畜屠宰操作规程 生猪[S]
GB/T17236-2019, Livestock Slaughtering Operation Rules for Live Pig [S]

[8] SUN Yi, MA Liang, MA Ming-si, et al. Texture characteristics of chilled prepared Mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during storage [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 242-254

[9] GB 5009.3-2016,食品中水分的测定[S]
GB 5009.3-2016, Determination of Moisture in Food [S]

[10] GB 5009.5-2016, 食品中蛋白质的测定[S]
GB 5009.5-2016, Determination of Protein in Food [S]

[11] GB 5009.6-2016, 食品中脂肪的测定[S]
GB 5009.6-2016, Determination of Fat in Food [S]

[12] 周荣新.西冷牛排食用品质保证关键控制点的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2008:33
ZHOU Rong-xin. Study on critical control point of sirloin steak food quality assurance [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2008

[13] 傅丽,葛佳俊,龚辉,等.上浆时间对水晶虾仁品质的影响[J].中国食品学报,2019,19(3):222-231
FU Li, GE Jia-jun, GONG Hui, et al. Effect of sizing time on the quality of sautéed shelled shrimps [J]. Chinese Journal of Food, 2019, 19(3): 222-231

[14] Roiha Irja Sunde, Jónsson Ásbjörn, Backi Christoph Josef, et al. A comparative study of quality and safety of Atlantic cod (*Gadus morhua*) fillets during cold storage, as affected by different thawing methods of pre-rigor frozen headed and gutted fish [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 98(1): 400-409

[15] 胡胜杰,朱东阳,王锐,等.冷藏时间对冷却猪背最长肌品质的影响[J].肉类研究,2018,32(3):29-33
HU Sheng-jie, ZHU Dong-yang, WANG Rui, et al. Effect of cold storage time on the quality of longissimus dorsi muscle of chilled pigs [J]. Meat Research, 2018, 32 (3): 29-33

[16] Everts A J, Wulf D M, Everts A K, et al. Quality

characteristics of chunked and formed hams from pale, average and dark muscles were improved using an ammonium hydroxide curing solution [J]. Meat Science, 2010, 86(2): 352-356

[17] 朱立贤,张一敏,毛衍伟,等.宰后不同温度处理对牛背最长肌 AMPK 活性、糖酵解及肉品质的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(2): 148-153
ZHU Li-xian, ZHANG Yi-min, MAO Yan-wei, et al. Effects of different postmortem temperature treatments on AMPK activity, glycolysis and meat quality of bovine longissimus dorsi muscle [J]. Food and Fermentation Industry, 2018, 44 (2): 148-153

[18] 王正雯,张志芳,何俊,等.加热温度对麻鸭肌原纤维蛋白结构与凝胶特性的影响[J]. 食品科学,2020,41(13):61-66
WANG Zheng-wen, ZHANG Zhi-fang, HE Jun, et al. Effect of heating temperature on structure and gel properties of myofibrillar protein in sesame duck [J]. Food Science, 2020, 41(13): 61-66

[19] 朱明明,王亚秋,刘新建,等.快速与慢速解冻对冷冻猪肉品质特性及蛋白变性的影响[J].食品工业科技,2018,39(23): 23-30,36
ZHU Ming-ming, WANG Ya-qiu, LIU Xin-jian, et al. Effects of fast and slow thawing on quality characteristics and protein denaturation of frozen pork [J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39 (23): 23-30, 36

[20] Holmer S F, Mckeith R O, Boler D D, et al. The effect of pH on shelf-life of pork during aging and simulated retail display [J]. Meat Science, 2009, 82(1): 86-93

[21] 孟彤,刘源,仇春泱,等.蛋白质氧化及对肉品品质影响[J].中国食品学报,2015,15(1):173-181
MENG Tong, LIU Yuan, QIU Chun-yang, et al. Protein oxidation and its effect on meat quality [J]. Chinese Journal of Food, 2015 15 (1): 173-181

[22] 黄明焜,易永红,龙达嘉,等.宰后猪肉冷却过程中品质变化及冷却工艺优化[J].食品科技,2018,43(10):149-157
HUANG Ming-kun, YI Yong-hong, LONG Da-jia, et al. Quality change and cooling process optimization of post-slaughtered pork during cooling process [J]. Food Science and Technology, 2018, 43 (10): 149-157

[23] 陈韬,周光宏,徐幸莲.宰后肌肉蛋白质变化对冷却猪肉持水性的影响[J].食品工业科技,2006,10:87-91,95
CHEN Tao, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian. Effect of postmortem muscle protein changes on water retention of chilled pork [J]. Food Industry Science and Technology, 2006, 10: 87-91, 95

[24] 魏里朋,何承云,康壮丽,等.温度波动对冷却猪肉品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(16):218-222
WEI Li-peng, HE Cheng-yun, KANG Zhuang-li, et al. Effect of temperature fluctuation on the quality of chilled pork [J]. Food Industry Science and Technology, 20119, 40(16): 218-222

[25] LI Sheng-jie, MA Ren-chao, Pan Jin-feng, et al. Combined effects of aging and low temperature, long time heating on pork toughness [J]. Meat Science, 2019, 150: 33-39

[26] César Ozuna, Ana Puig, Jose V. et al. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations [J]. Journal of Food Engineering, 2013,119(1): 84-93

[27] 戎平,赵雪聪,李雨哲,等.驴肉在低温成熟过程中肌纤维微观结构变化研究[J].食品科技,2016,41(10):102-105
RONG Ping, ZHAO Xue-cong, LI Yu-zhe, et al. Study on the changes of muscle fiber microstructure of donkey meat during low temperature ripening [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(10): 102-105

[28] Koohmaraie M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat [J]. Meat Science, 1996, 43(1): 193-201

[29] 王志江,蒋爱民.超高压处理对熟制鸡肉微观结构的影响[J].食品与机械,2015,31(1):37-40
WANG Zhi-jiang, JIANG Ai-min. Effect of ultra-high pressure treatment on microstructure of cooked chicken [J]. Food and Machinery, 2015, 31(1): 37-15

[30] Lee C W, Lee J R, Kim M K, et al. Quality improvement of pork loin by dry aging [J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2016, 36(3): 369-376

[31] ZHAO Jian, WANG Meng, XIE Jian-chun, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig [J]. Food Chemistry, 2017, 226: 51-60

[32] 朱淑斌,赵旭庭,周春宝,等.姜曲海猪肉营养成分组成及风味物质的研究[J].中国畜牧杂志,2013,49(15):16-19
ZHU Shu-bin, ZHAO Xu-ting, ZHOU Chun-bao, et al. Studies on nutritional composition and flavor of Jiangquhai pork [J]. Chinese Journal of Animal Husbandry, 2013, 49(15): 16-19

[33] 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 Yi-yan, MA Xian-yong. Research progress of pork flavor [J]. Meat Research, 2017, 31 (6): 55-60

（下转第 312 页）