

真空滚揉腌制对伊拉兔肉品质特性的影响

王兆明¹, 贺稚非^{1,2}, 李洪军^{1,2,*}, 余力¹, 黄翰¹, 王珊¹, 徐明悦¹

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘要: 本实验研究了真空滚揉腌制前后伊拉兔肉食用品质特性、质构特性、肌浆蛋白、肌原纤维蛋白、总蛋白溶解度和游离氨基酸含量的变化。结果表明: 真空滚揉腌制可以显著改善兔肉的食用品质, 提高兔肉的pH值, 改善兔肉的色泽, 降低兔肉的蒸煮损失和压榨损失, 提高保水性, 改善兔肉嫩度和质构特性; 真空滚揉腌制会导致肌原纤维蛋白分解、肌浆蛋白溶出、游离氨基酸含量下降, 引起兔肉品质特性的变化。

关键词: 真空滚揉腌制; 兔肉; 食用品质; 质构特性; 蛋白质溶解度

Effects of Vacuum Tumbling on Quality Characteristics of Hyla Rabbit Meat

WANG Zhaoming¹, HE Zhifei^{1,2}, LI Hongjun^{1,2,*}, YU Li¹, HUANG Han¹, WANG Shan¹, XU Mingyue¹

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Chongqing Special Food Engineering and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

Abstract: The effects of tumbling on quality characteristics of Hyla rabbit meat were studied by analyzing the changes in eating quality, texture properties, sarcoplasmic proteins solubility, myofibrillar protein solubility, total protein solubility and total free amino acid content of Hyla rabbit meat. The results showed that tumbling significantly improved the eating quality and color, raised the pH, reduced the cooking loss and crushing loss, enhanced the water-holding capacity, and improve the tenderness and texture properties of rabbit meat. Tumbling led to the breakdown of myofibrillar protein, the dissolution of sarcoplasmic proteins and a decrease in free amino acid content, thus causing changes in quality characteristics of rabbit meat.

Key words: vacuum tumbling; rabbit meat; eating quality; texture properties; protein solubility

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)17-0054-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201517011

兔肉营养价值高, 具有高蛋白、高赖氨酸、高消化率、低脂肪、低胆固醇、低热量的特点; 兔肉中含有大量的多不饱和脂肪酸、共轭亚油酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸、VE和硒等生物活性物质, 能够降低 $n-3/n-6$ 脂肪酸比例, 对控制心血管病及其他慢性疾病有重要的作用^[1], 具有良好的保健功能。伊拉兔又被称为伊拉配套系肉兔, 是2000年从法国引进并推广的杂交品种, 具有生长周期短和出肉率高的特点。目前, 我国对伊拉兔的研究主要集中在脂肪酸、蛋白质和风味物质上^[2-6], 而对加工过程中肉品质的变化研究较少。

腌制作作为肉制品加工中常采用的方式, 不仅具有防腐作用, 还具有改善肉的风味和颜色的作用^[7]。我国兔肉制品加工中多采用传统湿腌的方式, 该方式腌制时间长、易引起微生物污染, 严重限制了我国兔肉加工的发展。滚揉是西式肉制品前处理的重要手段, 可以有效促

进腌制进程。滚揉是肉块在滚揉机滚筒中随着滚筒的旋转而受到一定形式的机械力作用, 使其质构获得改善, 嫩度提高^[8], 滚揉过程中通过对肉施以机械作用, 使肌肉结构趋于松弛, 肌纤维间隙增大, 细胞膜渗透性增强, 细胞发生破裂, 这更有利于腌制液的分布与吸收, 从而促进肌原纤维蛋白的溶解和抽提, 产生黏性基质, 达到改善肉品色泽、降低蒸煮损失、增加出品率、提高肉品的保水性和嫩度的目的。本实验以伊拉兔为原料, 探讨了真空滚揉腌制对伊拉兔肉品质特性的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验兔为伊拉配套系商品代, 购自重庆市高校草

收稿日期: 2014-11-27

基金项目: 国家现代农业(兔)产业技术体系建设专项(CARS-44-D-1); 公益性行业(农业)科研专项(201303144); 西南大学基本科研业务费专项资金项目一般项目(XDJK2015C040)

作者简介: 王兆明(1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为肉类科学与酶工程。E-mail: 706947252@qq.com

*通信作者: 李洪军(1961—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉类科学与酶工程。E-mail: 983362225@qq.com

食动物工程研究中心种兔场；采用60日龄的伊拉兔20只，按常规方法击晕宰杀去皮后，分割兔后腿冷冻处理，备用。

腌制液由食用盐、复合磷酸盐（食品级）和亚硝酸钠（食品级）组成，配制好后在4℃条件下过夜。腌制液按食用盐占肉质量2.5%、复合磷酸盐占肉质量0.3%、亚硝酸盐占肉质量0.01%配制。

结晶牛血清蛋白为生化试剂，其他化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

BVRJ-30真空滚揉机 嘉兴艾博实业有限公司；CT-3质构分析仪 美国Brookfield公司；台式高速离心机 德国Eppendorf公司；TA.XT2i物性测定仪 英国Stable Micro System公司；UltraScan PRO测色仪 美国HunterLab公司；722型可见分光光度计 上海元析仪器有限公司；UB-7 pH计 德国Sartorius AG公司；电子分析天平 赛多利斯科学仪器有限公司；ZWY-2102C恒温培养振荡器 上海智城分析仪器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 实验方法

将冷冻的兔肉在4℃条件下解冻，随机分为3组，第1组不作任何处理，直接测定各项指标；第2组进行真空滚揉腌制处理，滚揉时间为90 min，滚揉机参数设置为，滚揉转速10 r/min，真空度0.02 MPa；第3组做静置腌制处理，腌制时间为90 min。每组肉质量为2 kg，实验平行3次，每个平行重复3次。

1.3.2 pH值测定

将1 g肉样剪碎，加入10 mL KCl溶液，均质处理，将电极插入其中，待稳定后读数。每个样品重复测定3次，取平均值。

1.3.3 色泽检测

采用测色仪测定色泽，测色仪先用校正板标准化，然后将肉样垂直紧扣在镜口，测定并记录白度（ L^* ）值、红度（ a^* ）值、黄度（ b^* ）值，每个样品选择3个位置测定，每个位置重复3次，取平均值。

1.3.4 剪切力测定

用TA.XT2i物性测定仪测定剪切力，参数设置如下：测前速率：1.50 mm/s、测中速率：1.50 mm/s、测后速率：10 mm/s、距离：30.0 mm、触发力40 g。测定时将兔肉沿肌纤维方向切取1 cm×1 cm×4 cm的肉条状，用物性测定仪连接的V型刀头，垂直肌纤维方向剪切。

1.3.5 蒸煮损失

参照Peiretti等^[9]的方法测定。

加热前精确称质量，记为 m_1 ，真空包装，在80℃的水浴锅中加热，保持1 h后取出，在流水中冷却至室温，精确称量并记录加热后质量 m_2 。

$$\text{蒸煮损失}/\% = \frac{m_1/g - m_2/g}{m_1/g} \times 100 \quad (1)$$

1.3.6 压榨损失

参照Pietrasik等^[10]的方法并根据实验条件适当修改测定压榨损失。

将熟肉切成3 g左右的块状，精确称质量，记为 m_3 ，用3层滤纸包裹，放入50 mL的离心管中离心（2 400×g，20 min），离心结束后精确称质量，记为 m_4 。

$$\text{压榨损失}/\% = \frac{m_3/g - m_4/g}{m_3/g} \times 100 \quad (2)$$

1.3.7 TPA质构分析

应用美国Brookfield公司生产的CT-3质构分析仪，通过Texture Loader软件加以控制。测定方法应用TPA（texture profile analysis）模式质构分析，测定参数如下：目标：50%，触发点负载：5 g，测试速率1.00 mm/s，返回速率1 mm/s，循环次数：2.0，探头：TA44。肉块切成规则的正方体（1 cm×1 cm×1 cm）测定。

1.3.8 总游离氨基酸含量测定

参照钟赛意^[11]的方法，并根据实验条件修改后测定总游离氨基酸含量。

取10 g肉样绞碎，加50 mL蒸馏水均浆5 min，加水定容至100 mL，然后4℃、15 000×g离心15 min，上清液过滤后加入三氯乙酸，最终质量分数为5%，过滤除去沉淀蛋白，上清液用茚三酮法测定氨基酸。以吸光度为纵坐标，游离氨基酸浓度为横坐标绘制标准曲线，得到回归方程为 $y=0.0053x-0.1158$ （ $R^2=0.9993$ ）。

1.3.9 肌原纤维蛋白含量和肌浆蛋白溶解度测定

参照Li Chao等^[12]的方法并根据实验条件修改，测定肌原纤维和肌浆蛋白的溶解度。

肌浆蛋白含量：精确称取1 g肉样，放入100 mL离心管中，加入10 mL冰浴磷酸钾缓冲液（0.025 mol/L，pH 7.2），低速匀浆（6 500 r/min）2次，每次30 s，间隔30 s。匀浆液放于摇床，在4℃条件下抽提12 h，对抽提液进行离心分离（4℃，1 500×g，20 min），分离上清液，双缩脲法测定上清液中蛋白含量。

总可溶性蛋白含量：精确称取0.5 g肉样，放入100 mL离心管中，加入10 mL冰浴碘化钾提取液（1.1 mol/L碘化钾溶于0.1 mol/L磷酸钾缓冲液，pH 7.2），按照以上步骤重复进行匀浆、抽提、离心上清液，测定蛋白含量。

肌原纤维蛋白为总可溶性蛋白减去肌浆蛋白，肌原纤维蛋白溶解度和肌浆蛋白溶解度分别为肌原纤维蛋白和肌浆蛋白占肉质量的百分比。以吸光度为纵坐标，牛血清蛋白浓度为横坐标绘制标准曲线，得到回归方程为 $y=0.0460x+0.0075$ （ $R^2=0.9991$ ）。

1.4 数据处理

运用SPSS 19.0对实验数据进行单因素方差分析 (analysis of variance, ANOVA)、最小显著差数法 (least significant difference, LSD) 多重比较以及 Pearson's相关性分析, 用Excel作图。

2 结果与分析

2.1 真空滚揉腌制对兔肉基本食用品质的影响

表1 真空滚揉腌制对伊拉兔肉食用品质的影响

Table 1	Effects of tumbling on eating quality of Hyla rabbit meat		
指标	未处理组	静置腌制组	滚揉腌制组
剪切力/g	3 005.66±39.41 ^{Aa}	2 765.36±89.39 ^{Bb}	1 885.00±39.72 ^{Cc}
pH	5.89±0.02 ^{Cc}	6.15±0.02 ^{Bb}	6.23±0.01 ^{Aa}
蒸煮损失/%	39.27±1.19 ^{Aa}	32.98±1.69 ^{Bb}	28.27±1.18 ^{Bc}
压榨损失/%	18.34±3.20 ^{Aa}	11.32±0.98 ^{ABb}	9.13±0.90 ^{Bb}
<i>L</i> *	53.84±0.68 ^{Bb}	55.04±0.97 ^{Bb}	59.03±1.00 ^{Aa}
<i>a</i> *	4.31±0.39 ^{Aa}	3.15±0.11 ^{Bb}	1.88±0.26 ^{Cc}
<i>b</i> *	10.67±1.05 ^{Aa}	10.94±0.59 ^{Aa}	10.98±0.49 ^{Aa}

注: 同行大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$); 小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。表2同。

肉的嫩度是肉质的一个重要指标, 剪切力的大小可以反映肉的嫩度, 剪切力越小肉越嫩^[13]。由表1可知, 兔肉经真空滚揉腌制后剪切力减小, 与未处理组和静置腌制组相比均呈现出极显著变化 ($P < 0.01$)。在真空滚揉过程中, 负压显著提高负重, 肌纤维内外存在的压力差促使肌纤维结构趋于松弛, 再辅以重复进行翻滚、碰撞和跌落等机械运动, 肉块与肉块、肉块与机械之间产生挤压、摩擦和冲击等物理性作用力, 致使肌纤维强度被削弱甚至发生断裂, 肌纤维之间间隙增大、结合力减小, 肌原纤维小片化程度增加, 最终导致剪切力下降; 另一方面, 滚揉腌制可能加速了内源性蛋白酶的释放与重新分布, 使其可以更有效地与肌原纤维蛋白结合, 促进Z线降解, 提高嫩度^[14]。

真空滚揉腌制后兔肉*L**值极显著升高 ($P < 0.01$), 而静置腌制与未处理组相比变化却不显著 ($P > 0.05$), 一方面是因为滚揉过程中, 肌纤维蛋白发生降解形成黏性基质, 大量的水进入肌肉细胞中, 改变了肉的反射特征, 提高了肉的亮度^[15]; 另一方面, 肌红蛋白氧化生成氧合肌红蛋白, 其比例增加会使肌肉亮度增加^[16]; 色泽中*a**值极显著下降 ($P < 0.01$), 腌制使得肉中残存的血液流出, 降低了血红蛋白的含量, 并且腌制液中的食盐加速了肉中肌红蛋白氧化成颜色较浅的高铁肌红蛋白; 真空滚揉后, 大量的水分进入细胞, 血红蛋白和肌红蛋白浓度进一步下降, 此外较低的氧气分压有利于高铁肌红蛋白的生成, *a**值进一步变小。*b**值变化不显著 ($P > 0.05$)。与静置腌制组相比, 滚揉腌制后兔肉的pH值

极显著升高 ($P < 0.01$), 这是由于滚揉提高了腌制液与肉块之间的质量传递速率, 使更多腌制液进入肉块, 腌制液中大量呈碱性的多聚磷酸盐造成了肉块pH值的升高。

在蛋白质水合性质方面, 与未处理组相比蒸煮损失和压榨损失极显著降低 ($P < 0.01$), 这是由于滚揉提高了腌制液进入肉的速率和数量, 促进了蛋白质降解和盐溶性蛋白的析出, 盐溶性蛋白形成的三维网状结构可固定大量的水分, 同时腌制液中的复合磷酸盐也具有较强的保水作用^[17]。

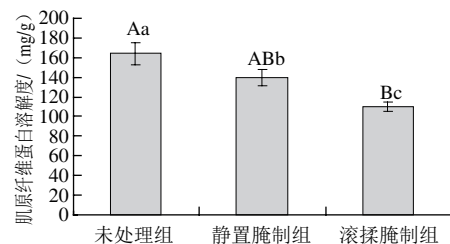
2.2 真空滚揉腌制对兔肉质构特性的影响

表2 真空滚揉腌制对伊拉兔肉质构特性的影响

Table 2	Effects of tumbling on texture profile analysis (TPA) characteristics of Hyla rabbit meat		
指标	未处理组	静置腌制组	滚揉腌制组
硬度/N	750.00±3.64 ^{Aa}	699.33±13.61 ^{Aa}	472.00±32.74 ^{Bb}
弹性/mm	3.94±0.13 ^{Aa}	4.34±0.39 ^{Aa}	3.94±0.24 ^{Aa}
胶着性/g	472.67±27.74 ^{Aa}	426.67±20.59 ^{Aa}	262.67±20.50 ^{Bb}
咀嚼性/mJ	18.73±1.93 ^{Aa}	15.97±1.37 ^{Aa}	10.07±0.86 ^{Bb}
内聚性	0.63±0.04 ^{Aa}	0.58±0.05 ^{Aa}	0.57±0.11 ^{Aa}
可恢复形变	2.24±0.17 ^{Aa}	2.05±0.18 ^{Aab}	1.77±0.66 ^{Bb}

硬度是指使食品达到一定变形所需的力, 是食品保持形状的内部结合力^[18], 兔肉经滚揉腌制处理后硬度降低, 与未处理组和静置腌制组相比呈极显著变化 ($P < 0.01$), 这是由于真空滚揉破坏了兔肉内部结构, 使其肌纤维空隙变大, 吸水膨润变软, 硬度减小。弹性反映外力作用时变形及去力后的恢复程度, 其反映的是视觉效应; 内聚性表示对食物咀嚼时的抵抗性^[18], 由表2可知, 弹性和内聚性变化不明显 ($P > 0.05$)。胶着性与硬度和凝聚性有关, 是指将半固体食品嚼碎至可吞咽时需做的功, 数值上等于硬度和内聚性的乘积^[18], 兔肉经滚揉处理后, 胶着性极显著下降 ($P < 0.01$)。咀嚼性与硬度、内聚性和弹性有关, 是指将固体食品咀嚼到可吞咽时需做的功, 经滚揉腌制处理后, 兔肉咀嚼性极显著下降 ($P < 0.01$)。可恢复形变在滚揉腌制后也呈现极显著下降 ($P < 0.01$)。滚揉腌制后大量水分进入肉块, 对兔肉质构具有明显的改善作用。

2.3 真空滚揉腌制对兔肉肌原纤维蛋白溶解度的影响



大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$); 小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。图2、3同。

图1 真空滚揉腌制对伊拉兔肉肌原纤维蛋白溶解度的影响

Fig.1 Effects of tumbling on myofibrillar protein solubility of Hyla rabbit

由图1可知, 兔肉经真空滚揉腌制处理后, 肌原纤维蛋白溶解度与未处理组相比极显著下降 ($P<0.01$), 与静置腌制组相比显著下降 ($P<0.05$), 而静置腌制组与未处理组相比变化不明显 ($P>0.05$)。这可能是由于在静置腌制过程中, 位于Z线上的主要蛋白质 α -肌动蛋白素在腌制过程中比较稳定^[19], 使得肌原纤维蛋白变化不明显; 真空滚揉腌制使蛋白的高级结构发生改变, 空间立体性增加, 或者蛋白与蛋白之间交联改变, 肌原纤维蛋白降解^[14], 溶解度降低。

2.4 真空滚揉腌制对兔肉总蛋白溶解性的影响

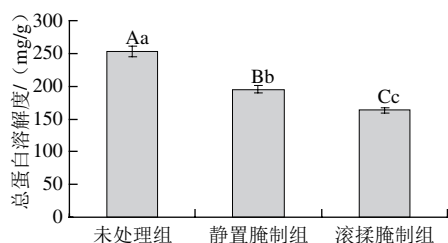


图2 真空滚揉腌制对伊拉兔肉总蛋白溶解度的影响

Fig.2 Effects of tumbling on total protein solubility of Hyla rabbit meat

蛋白质溶解度是评价蛋白质变性程度的常用指标, 与蛋白质功能特性密切相关, 它是在蛋白质-蛋白质和蛋白质-溶剂相互作用之间平衡的热力学表现形式^[20]。由图2可知, 兔肉经真空滚揉腌制处理后, 总蛋白溶解度与未处理组和静置腌制组相比极显著降低 ($P<0.01$)。造成这种现象的原因可能是血红蛋白和肌红蛋白等肌浆蛋白溶解于腌制液中含有量下降, 引起静置腌制组总蛋白溶解度下降; 经真空滚揉腌制处理后, 滚揉促使组织软化和破裂, 增加腌制液吸收和蛋白质的提取^[21], 蛋白质的去折叠和变性程度提高, 引起蛋白质的溶解度降低^[22]。

2.5 真空滚揉腌制对兔肉肌浆蛋白溶解性的影响

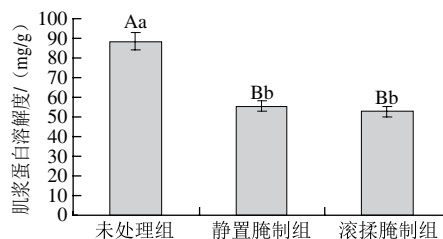


图3 真空滚揉腌制对伊拉兔肉肌浆蛋白溶解度的影响

Fig.3 Effects of tumbling on sarcoplasmic proteins solubility of Hyla rabbit meat

由图3可知, 兔肉经真空滚揉腌制处理后, 肌浆蛋白溶解性与未处理组相比极显著降低 ($P<0.01$), 与静置腌制相比变化不明显 ($P>0.05$)。这说明造成肌浆蛋白溶解度变化的主要原因是腌制剂。这是由于肌浆蛋白溶于低离子强度的盐溶液^[23], 在腌制过程肌浆蛋白大量的溶解于腌制液导致其含量显著下降; 另一方面, 可能是由于真空滚揉腌制破坏了肌浆蛋白的致密结构, 使其内部疏水基团暴露出来, 溶解度降低。

2.6 真空滚揉腌制对兔肉总游离氨基酸含量的影响

由图4可知, 兔肉经真空滚揉腌制处理后, 游离氨基酸含量与未处理组相比成极显著变化 ($P<0.01$), 静置腌制与未处理组相比呈现显著变化 ($P<0.05$)。肉本身游离氨基酸的增加和减少取决于其形成和降解量的比率^[24], 而在腌制过程中, 游离氨基酸变化一方面由肉本身肌肉组织蛋白水解酶、氨肽酶作用生成游离氨基酸; 另一方面则是从腌制液中吸收^[25], 兔肉滚揉腌制后, 由于腌制液中没有游离氨基酸存在, 游离氨基酸含量进一步减少。

表3 真空滚揉腌制伊拉兔肉各品质指标相关性分析

Table 3 Correlation analysis of various rabbit meat quality parameters

指标	剪切力	L^*	a^*	b^*	蒸煮损失	压榨损失	pH值	硬度	内聚性	弹性	胶着性	咀嚼性	可恢复形变	总游离氨基酸含量	肌原纤维蛋白溶解度	肌浆蛋白溶解度	总蛋白溶解度
剪切力	1	-0.925**	0.934**	0.881*	0.911**	0.746*	-0.461	0.985	0.568	0.248	0.981**	0.956**	0.847**	0.855**	0.868**	0.783*	0.869**
L^*		1	-0.841**	-0.861*	-0.805**	-0.750*	0.475	-0.925**	-0.625	-0.120	-0.876**	-0.870**	-0.796*	-0.869**	-0.866**	-0.755*	-0.853**
a^*			1	0.730*	0.974**	0.793*	-0.684*	0.926**	0.700*	0.042	0.938**	0.952**	0.762*	0.873**	0.852**	0.910**	0.932**
b^*				1	0.719*	0.537	-0.185	0.887**	0.420	0.323	0.817**	0.862**	0.762*	0.678*	0.669*	0.562	0.647
蒸煮损失					1	0.837**	-0.745*	0.880**	0.603	0.054	0.899**	0.944**	0.823**	0.909**	0.834**	0.945**	0.942**
压榨损失						1	-0.800**	0.744*	0.634	-0.319	0.725*	0.687*	0.797*	0.806**	0.933**	0.873**	0.952**
pH值							1	-0.429	-0.601	0.421	-0.456	-0.545	-0.535	-0.754*	-0.616	-0.900**	-0.807**
硬度								1	0.644	0.172	0.978**	0.935**	0.786*	0.790*	0.889	0.747*	0.860**
内聚性									1	-0.298	0.633	0.611	0.422	0.532	0.671*	0.640	0.691*
弹性										1	0.269	0.271	0.138	0.091	-0.162	-0.180	-0.181
胶着性											1	0.943**	0.784*	0.801**	0.862**	0.752*	0.849**
咀嚼性												1	0.802**	0.872**	0.762*	0.833**	0.844**
可恢复形变													1	0.863**	0.763*	0.776*	0.813**
总游离氨基酸含量														1	0.779*	0.930**	0.906**
肌原纤维蛋白溶解度															1	0.795*	0.942**
肌浆蛋白溶解度																1	0.952**
总蛋白溶解度																	1

注: **, 差异极显著 ($P<0.01$); *, 差异显著 ($P<0.05$)。

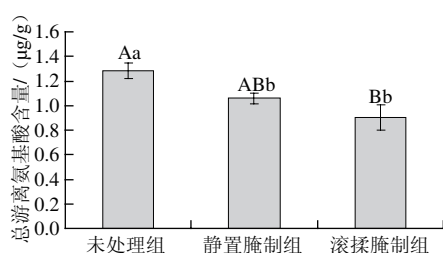


图4 真空滚揉腌制对伊拉兔肉总游离氨基酸含量的影响

Fig.4 Effects of tumbling on the content of total free amino acids in Hyla rabbit meat

2.7 各品质指标相关性分析

真空滚揉腌制处理后各品质指标的相关性分析如表3所示。基本食用品质方面，pH值与蒸煮损失成显著负相关 ($P<0.05$)，与压榨损失成极显著负相关 ($P<0.01$)。L*值与a*值、蒸煮损失成极显著负相关 ($P<0.01$)，与b*值、压榨损失成显著负相关 ($P<0.05$)，蒸煮损失和压榨损失是肌肉保水性的主要表示形式，呈现极显著正相关 ($P<0.01$)。在质构特性方面，剪切力与胶着性和咀嚼性成极显著正相关 ($P<0.01$)，硬度与胶着性和咀嚼性成极显著正相关 ($P<0.01$)，胶着性与咀嚼性成极显著正相关。

蛋白质溶解度方面，肌原纤维蛋白溶解度与剪切力、胶着性、蒸煮损失和压榨损失成极显著正相关 ($P<0.01$)，与咀嚼性、内聚性和可恢复形变成显著相关 ($P<0.05$)；肌浆蛋白溶解度与pH值、硬度与a*值、蒸煮损失、压榨损失、咀嚼性成极显著相关 ($P<0.01$)。这说明蛋白质变性对兔肉品质特性的变化有显著或极显著的影响。

3 结论

真空滚揉腌制可以显著改善兔肉的食用品质，提高兔肉的pH值，改善兔肉的色泽，降低兔肉的蒸煮损失和压榨损失，提高保水性，改善兔肉嫩度和质构特性。

真空滚揉腌制会导致肌原纤维蛋白分解，肌浆蛋白溶出，总蛋白溶解度下降，游离氨基酸含量下降，引起兔肉品质特性的变化。兔肉各品质指标之间相关性显著，蛋白质变性对兔肉品质特性的变化有显著的影响。

参考文献:

[1] DALLE ZOTTE A, SZENDRO Z. The role of rabbit meat as functional food[J]. Meat Science, 2011, 88(3): 319-331.
 [2] 王毅, 贺稚非, 陈红霞, 等. 不同部位伊拉兔肉脂肪酸组成的对比分析[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 137-141. doi:10.7506/spkx1002-6630-201404028.

[3] 陈康, 李洪军, 贺稚非, 等. 不同性别伊拉兔肉挥发性风味物质的SPME-GC-MS分析[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 98-102. doi:10.7506/spkx1002-6630-201406020.
 [4] 陈红霞, 贺稚非, 李洪军, 等. 蒸汽加热对伊拉兔肉及其蛋白质热变性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(21): 65-68.
 [5] 王毅, 贺稚非, 李洪军, 等. 伊拉兔肉脂肪酸组成的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 154-157. doi:10.7506/spkx1002-6630-201324032.
 [6] 陈红霞, 贺稚非, 朱慧敏, 等. 顶空固相微萃取和同时蒸馏萃取用于兔肉挥发性风味成分分析的比较研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 288-291.
 [7] 杜垒. 盐水鸭老卤腌制特性与传质动力学分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
 [8] 詹文圆. 肉制品加工中变压滚揉腌制技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
 [9] PEIRETTI P G, GAI F, ROTOLO L, et al. Effects of tomato pomace supplementation on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 345-351.
 [10] PIETRASIK Z, SHAND P J. Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef[J]. Meat Science, 2004, 66(4): 871-879.
 [11] 钟赛意. 超声波在盐水鸭加工中的应用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
 [12] LI Chao, WANG Daoying, XU Weimin, et al. Effect of final cooked temperature on tenderness, protein solubility and microstructure of duck breast muscle[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(1): 266-274.
 [13] 徐为民, 殷燕涛, 诸永志, 等. 不同腌制方式对鸭肉腌制速率及肉质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(8): 201-205.
 [14] 史培磊, 周光宏, 李春保, 等. 滚揉腌制前后鹅肉品质的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 88-92.
 [15] 苑瑞生. 滚揉工艺对鸡肉调理制品食用品质影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
 [16] JOHANSSON G, TORNBERG E, LUNDSTRÖM K. Meat colour in loin and ham muscles of normal meat quality from Hampshire, Swedish Landrace and Yorkshire pigs[C]//International Congress of Meat Science and Technology, 1993, 37: 394.
 [17] 汤春辉. 滚揉腌制对调理鸭胸肉制品品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
 [18] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 107-109.
 [19] 徐慧, 刘伟, 刘伟, 等. 酱鸭加工过程中肌肉质构特性和蛋白降解的变化[J]. 南昌大学学报: 理科版, 2014, 38(3): 222-227.
 [20] 彭增起, 周光宏. 肌肉盐溶蛋白质溶解性和凝胶特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
 [21] SZERMAN N, GONZALEZ C B, SANCHEZ A M, et al. Effect of whey protein concentrate and sodium chloride addition plus tumbling procedures on technological parameters, physical properties and visual appearance of sous vide cooked beef[J]. Meat Science, 2007, 76(3): 463-473.
 [22] 常海军, 唐翠, 唐春红. 不同解冻方式对猪肉品质特性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 1-5. doi:10.7506/spkx1002-6630-201410001.
 [23] LAWRIE R A, LEDWARD D A. Lawrie's肉品科学[M]. 周光宏, 译. 北京: 中国农业大学出版社, 2009: 49-50.
 [24] 刘源, 徐幸莲, 周光宏, 等. 盐水鸭加工过程中滋味成分变化研究[J]. 农业工程技术: 农产品加工, 2007(7): 32-35.
 [25] 丁玉庭, 胡煌, 吕飞, 等. 滚揉腌制方式对鸭肉腌制品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(2): 200-204.