

滚揉对成熟过程中鹅肉品质及其蛋白质结构的影响

谢媚¹, 曹锦轩¹, 潘道东¹, 黄鸿兵², 沈建良³

(1. 宁波大学食品科学与工程系, 浙江宁波 315211) (2. 江苏省淡水水产研究所, 江苏南京 210017)

(3. 浙江卓旺农业科技有限公司, 浙江湖州 313014)

摘要: 研究了两种不同滚揉处理鹅肉成熟过程中的品质变化及其蛋白质构象的变化, 为改善鹅肉品质提供参考。选取 100 日龄的浙东白鹅, 随机分为三组, 其中一组为对照组, 另外两组分别进行滚揉 10 min (轻度滚揉) 和滚揉 30 min (重度滚揉) 处理。肉样置于 4 °C 成熟, 在 12 h、36 h、72 h、120 h 分别取出测蒸煮损失率和剪切力值, 采用拉曼光谱测定蛋白质构象。结果表明, 重度滚揉鹅肉蒸煮损失率最小, 轻度滚揉次之, 对照组最大, 均在成熟 36 h 达到最大值; 12~120 h, 对照组鹅肉剪切力值显著大于轻度滚揉 ($P < 0.05$) 和重度滚揉 ($P < 0.01$) 肉样, 重度滚揉鹅肉剪切力值最小, 嫩度最佳; 成熟 12 h, 对照组鹅肉蛋白中 α -螺旋构象含量高达 80.04%, 显著高于其他两组; 滚揉对微环境的影响主要是影响脂肪族氨基酸的疏水相互作用, 重度滚揉使脂肪族氨基酸的疏水相互作用显著增加。

关键词: 滚揉; 宰后成熟; 拉曼光谱; 蛋白质构象; 疏水相互作用

文章编号: 1673-9078(2014)10-205-211

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.10.035

Influence of Different Tumbling Methods on Meat Quality and Protein Structure of Goose Muscle during Postmortem Aging

XIE Mei¹, CAO Jin-xuan¹, PAN Dao-dong¹, HUANG Hong-bing², SHEN Jian-liang³

(1. Department of Food Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

(2. Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210017, China)

(3. Zhuowang Agricultural technological company of Jiangsu Province, Huzhou 313014, China)

Abstract: In the present study, the protein structure and quality of goose meat treated by two different tumbling methods were investigated during postmortem aging, with the aim of improving the meat quality. Meat samples from 100-day-old geese were randomly divided into three groups, namely a control and two treatment groups: one exposed to tumbling for 30 min (vigorous tumbling) and the other for 10 min (mild tumbling). Meat samples of each group were placed at 4 °C for postmortem aging, and the shear force value and cooking loss rate were measured at 12, 36, 72, and 120 h, while the protein structures were determined by Raman spectroscopy. The results indicated that goose muscle exposed to vigorous tumbling had the lowest cooking loss rate, followed by the mild tumbling group, while the control group showed the highest cooking loss rate, and the highest value was observed at 36 h in all groups. From 12 to 120 h, the control group showed significantly higher shear force value than those observed in the mild tumbling group ($P < 0.05$) and vigorous tumbling group ($P < 0.01$). The lowest shear force value was observed in the vigorous tumbling group, with the samples exhibiting the best meat tenderness. At 12 h, the α -helix content in goose muscle from control group samples reached as high as 80.04%, which was significantly higher than the values found in the other two groups. The effect of tumbling on the microenvironment is mainly achieved via hydrophobic interactions among the aliphatic amino acids, which were found to be significantly increased by vigorous tumbling.

Key words: tumbling; postmortem aging; raman spectroscopy; protein structure; hydrophobic interactions

浙东白鹅是浙江著名的地方特色品种, 具有高蛋

收稿日期: 2014-03-12

基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目 (2013GB2G200191); 国家现代农业产业体系 (CARS-43-17); 浙江省重大科技专项 (2012C12016-1)

作者简介: 谢媚 (1991-), 女, 硕士, 主要研究方向为肉品加工与质量控制

通讯作者: 曹锦轩 (1982-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为肉品加工与质量控制

白、低脂肪含量、肉质细嫩等特点, 是风鹅、糟鹅等传统特色鹅肉制品的主要原料, 广泛养殖于浙江及周边地区, 具有极重要的经济价值。据中国农业网报道, 浙东白鹅一般在 20~60 日龄绝对增重速度最快, 70 日龄左右 (体重 3.2~4.0 kg) 时上市肉质较好。然而, 由于近几年禽流感事件时有发生, 导致正常肉鹅出栏日龄混乱, 加上羽绒拔毛的需要, 大量老鹅出现在市场

上。为提高鹅肉品质,我国和欧洲国家近年来主要采用姜汁浸泡^[1]、超高压^[2]、氯化钙注射^[3]、击晕^[4]、乳酸和乙酸喷淋^[5]等技术开展了一些研究。上述技术中姜汁浸泡、氯化钙注射、乳酸和乙酸喷淋容易引起肉色、风味等感官变化,二氧化碳气体击晕和超高压则设备成本较高限制其实际应用。真空滚揉曾经被普遍应用于西式火腿的前处理中^[6],也应用于猪肉^[7-8]、牛肉^[9]、肉鸡^[10-11]和火鸡^[12]等的嫩化处理上。作为一种机械嫩化技术,滚揉的原理曾被认为是通过强机械力作用造成肌纤维断裂和肌细胞物理性损伤,引起加工、贮藏过程中肌细胞对外界作用力抵抗的下降和提高蛋白质的溶解性,进而提高肉的嫩度和保水性等^[3]。目前,滚揉技术对老龄鹅肉的嫩化效果缺乏相关研究,其对肌原纤维蛋白溶解性的促进作用机制也有待进一步深入研究。

拉曼光谱技术作为蛋白质结构分析的重要手段,近几年来拉曼光谱技术被越来越多的应用于食品分析尤其是肌肉食品蛋白质结构的分析^[14]。通过分析拉曼谱带,可以定性分析肌原纤维一些基团和微环境的变化,定量地测定蛋白质二级结构百分含量在加工过程中的变化,从而探究蛋白质构象变化与肌肉品质变化之间的联系,为改善肉品加工和贮藏条件提供一定的理论依据。基于蛋白质结构研究新技术的特点,本研究拟选取了100日龄的浙东白鹅为原料,运用拉曼光谱技术比较了工业上常用的两种滚揉工艺(轻度滚揉和重度滚揉)对鹅肉嫩度、保水性及其蛋白质结构的影响,以期为鹅肉品质的改善和滚揉技术在鹅肉嫩化的工业应用提供理论依据,为进一步研究肌肉蛋白质结构变化对肉品品质的影响提供一些参考。

1 材料与方法

1.1 原料与设备

浙东白鹅均取自浙江宁波象山,草饲,日龄为100 d左右,活体重量每只约为4 kg。

GR-20 全自动呼吸式真空滚揉机,山东瑞恒食品机械厂;C-LM 3B型数显式肌肉嫩度仪,东北农业大学工程学院;显微共聚焦拉曼光谱仪,英国 Renishaw 公司;XHFD 型高速分散器,宁波新芝生物科技股份有限公司;电子天平,上海精天电子仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 原料肉的制备

15只活鹅经宰杀放血净膛清理后迅速置于4℃冷库中冷却2 h,随机分为三组,第一组不滚揉(对照组),

第二组轻度滚揉(滚揉10 min),第三组重度滚揉(滚揉30 min),每组5只鹅。滚揉条件:转速11 r/min、温度4℃、真空度75 kPa。滚揉完成后,迅速将三组鹅的左右胸肉取下,按照取样点将肉样均等切分成块,进行真空包装,散开放于4℃保藏,分别成熟12 h、36 h、72 h、120 h取出,剔除肌膜、筋腱和可见脂肪,采用拉曼光谱仪扫描蛋白结构,然后测定各项品质指标。

1.2.2 蒸煮损失率的测定

取一定大小(2.5 cm×2.5 cm×4 cm)的肉样,称重(m_1)后密封,置于85℃水浴锅中,当肉样中心温度到达75℃时保持20 min。蒸煮完成后,迅速在流水中冷却到室温,用吸水纸吸干表面水分,再次称重(m_2)。每组样品5个重复,按以下公式计算蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100$$

1.2.3 剪切力的测定

取测定完蒸煮损失率后的熟肉块,沿肌纤维方向钻取大小约为 $\Phi \times L = 1.27 \times 2.5$ cm的肉样,置于4℃冰箱中过夜,用肌肉嫩度仪垂直肌纤维方向切断肉块,记录剪切力值(Kgf),每个肉样剪切3次,最终结果取平均值代表一个样品的嫩度^[15]。

1.2.4 蛋白质结构测定

选用785 nm离子激光器,功率为140 mW,曝光时间10 s,用20倍长聚焦镜头将激光聚焦于载玻片上的肉样,扫描1次,获取600~1800 cm^{-1} 范围的拉曼光谱。以苯丙氨酸的单基取代苯基环在1002 cm^{-1} 伸缩振动强度作为内标进行归一化^[16],用Labspec 5软件对图谱进行平滑和基线校正。

1.2.5 数据分析

SAS 8.01 (Statistics Analysis System, SAS, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA, 2000)用于方差分析,选用Duncan multiple range test判断差异显著性, $P < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 不同滚揉处理鹅肉成熟过程中蒸煮损失率和剪切力值的变化

鹅肉成熟过程中蒸煮损失率和剪切力值的变化分别如图1、图2所示。总体上,滚揉后鹅肉的蒸煮损失率明显小于不滚揉肉样。一方面由于滚揉机械力使鹅肉的肌纤维直径减小,使细胞更加紧密,从而减少了汁液流失^[7],另一方面可能是滚揉对细胞的破坏作用提高了盐溶性蛋白的溶出,而这些蛋白可以结合一部

分水分^[18]。可以看出(图1),成熟12h,滚揉10min和不滚揉肉样的蒸煮损失率分别为35.16%和34.97%,都显著大于滚揉30min肉样的蒸煮损失率30.39%($P<0.05$),滚揉30min肉样的蒸煮损失率在12~36h间增加,36h时达到最大值37.23%,36~120h内逐渐减小,到120h减小到33.7%,此时显著小于滚揉10min鹅肉34.91%($P<0.05$)和不滚揉样品36.49%($P<0.01$)。整个成熟期间,除了在36h时蒸煮损失率与滚揉30min鹅肉样品相等,滚揉10min鹅肉的蒸煮损失率介于不滚揉和滚揉30min之间,在成熟期间随时间变化不明显($P>0.05$)。不滚揉鹅肉的蒸煮损失率在12h略高于滚揉10min鹅肉($P>0.05$),另外三个测试时间点的蒸煮损失率值都显著大于其他两组($P<0.01$)。以上结果说明滚揉可能提高肉的保水性,且重度滚揉效果优于轻度滚揉,这与Li等^[19]报道适当增加滚揉时间蒸煮损失减少的结论类似。

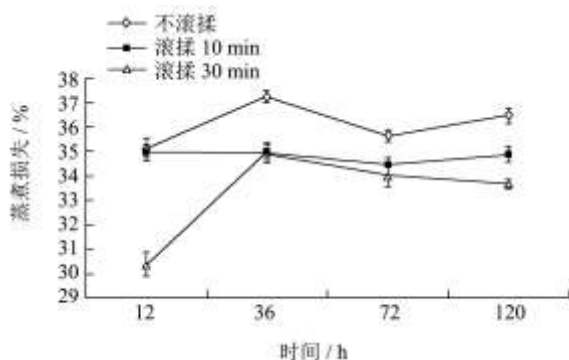


图1 不同处理鹅肉成熟期间蒸煮损失率的变化

Fig.1 Rate of cooking loss of goose muscle during postmortem aging

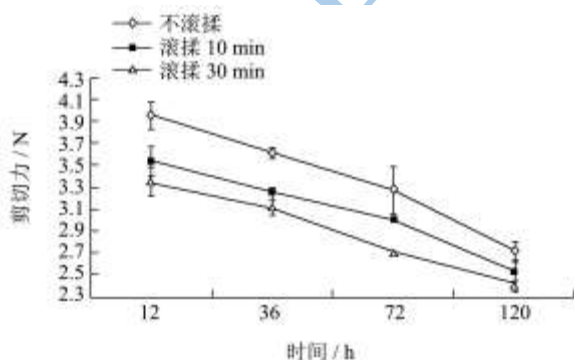


图2 鹅肉成熟期间剪切力值的变化

Fig.2 Shear force values of goose muscle during postmortem aging

一般来说,肉质越嫩,剪切力越小,越容易被切断。由图2可以看出,各组鹅肉的剪切力随着成熟时间的增加均呈现下降趋势,并且鹅肉剪切力大小为不滚揉>滚揉10min>滚揉30min,这可能与鹅肉蒸煮损失率不同有关。此外,可能因为鹅肉在滚揉机内甩拍

滚打过程中,肌原纤维遭到破坏甚至断裂,使肉变得松软,剪切力下降。机械外力的作用还可能加速了内源性蛋白酶的释放,使这些内源性蛋白酶可以更有效地与肌原纤维蛋白结合,促进Z线降解,进而提高肉的嫩度^[17]。Pietrasik等^[20]发现滚揉能改变蛋白质的水化特性,这也可能是上述剪切力减小的原因。Pietrasik等也发现延长滚揉时间能减少牛肉的蒸煮损失,减小剪切力,这与本研究中滚揉30min鹅肉的剪切力值小于滚揉10min鹅肉的结果是类似的。

2.2 鹅肉蛋白质拉曼光谱分析

鹅肉中的主要蛋白质为肌原纤维蛋白,占肌肉总蛋白的40%~60%,它不但对肌肉的收缩起重要作用,同时也与肉品质构特性以及色泽等密切相关。Herro等^[21]利用拉曼光谱技术对冻藏期间的鱼肉蛋白结构进行了原位检测,发现蛋白质二级结构的相互转化,尤其是 α -螺旋结构和 β -折叠构象的转变,可能是引起鱼肉质构特性的变化的重要原因。Beattie等^[22]对熟牛肉进行了拉曼光谱检测,发现肉质较硬的牛肉与肉质较嫩的牛肉之间的主要差异是他们蛋白质组成上的变化。本研究采用拉曼光谱技术对鹅肉进行原位检测,各组鹅肉不同成熟时间的拉曼光谱如图3所示,蛋白质拉曼光谱谱带的指认如表1所示。

表1 鹅肉蛋白质拉曼光谱条带的指认

Table 1 Tentative assignments of bands in the Raman spectra of goose muscle

拉曼位移 / cm^{-1}	峰的指认 (来源)
720	C-S 伸缩振动 (半胱氨酸, 甲硫氨酸)
757	色氨酸残基
830/850	酪氨酸残基
940	C=C 伸缩振动 (α -螺旋)
1002	苯丙氨酸 C-C 对称伸缩呼吸环
1031	苯丙氨酸 C-H 伸缩
1230~1350	酰胺 III 带
1340	色氨酸或脂肪族 C-H 弯曲振动
1450	CH, CH ₂ , CH ₃ 的弯曲振动
1550	色氨酸残基
1645~1700	酰胺 I 带

2.2.1 酰胺 I 带拉曼光谱的变化

蛋白质的二级结构主要包括 α -螺旋、 β -折叠、 β -转角和无规则卷曲几种形式。范围1645~1700 cm^{-1} 的谱带归属于酰胺I带,它主要由C=O的伸缩振动引起,此外,C-N的伸缩振动、C α -C-N的弯曲振动和N-H的面内弯曲振动也对其也微弱的贡献。12h,对照组样品

的酰胺 I 带最大峰位置出现在 1651 cm^{-1} 处 (图 3a), 而此时滚揉 10 min 和滚揉 30 min 鹅肉的最大峰位置分别偏移至 1655 cm^{-1} 和 1656 cm^{-1} 处。

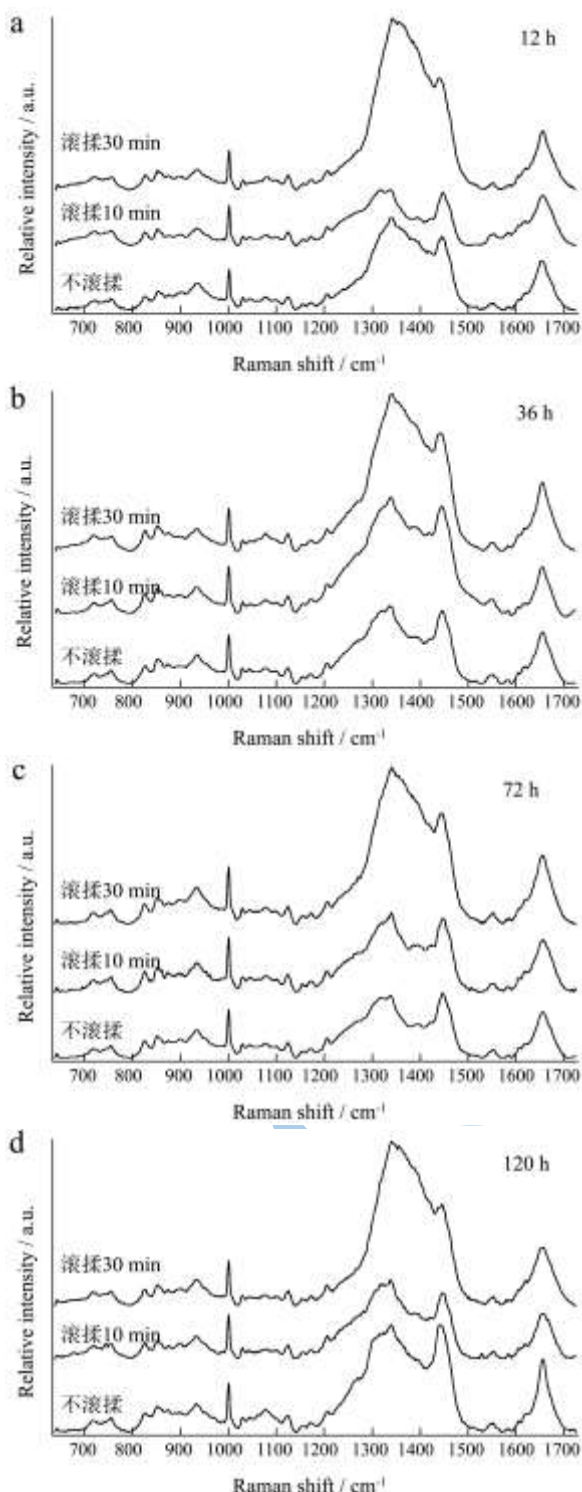


图 3 各组鹅肉拉曼光谱图

Fig.3 Raman spectra of goose muscle samples from different groups

同时, 从表 2 中 930 cm^{-1} 的相对强度来看, 12 h 对照组拉曼强度 (0.88) 大于滚揉 10 min (0.78) 和滚揉 30 min 鹅肉 (0.79) 的强度, 而该处的谱峰归属于

C-C 引起的 α -螺旋条带, 930 cm^{-1} 强度较弱表明 α -螺旋结构含量较少, 滚揉试验组鹅肉蛋白酰胺 I 带最大峰位置向波数高的位置偏移且 930 cm^{-1} 处拉曼相对强度小于不滚揉组, 说明滚揉可能是引起 α -螺旋结构变化的重要原因。原因可能是滚揉破坏了维持 α -螺旋结构稳定的氢键^[23], α -螺旋结构遭到破坏或向其他构象转化。Schmidt 等^[24]研究羊肉拉曼光谱信息与其剪切力的关系, 测得肉质硬的羊肉与肉质嫩的羊肉相比, 由 α -螺旋构象引起的拉曼信号更强, 这与本试验中各组在成熟 12 h 时剪切力越大的鹅肉其由 α -螺旋构象引起的拉曼信号越强的结果一致。在此后的成熟期间 (图 3b~d), 各组酰胺 I 带最大峰的拉曼位移都出现不规则的偏移, 930 cm^{-1} 的相对强度也表现出不同程度的波动 (见表 2), 这可能是蛋白质在储藏过程发生了不同程度的降解和重组^[25]。

2.2.2 蛋白质二级结构的定量分析

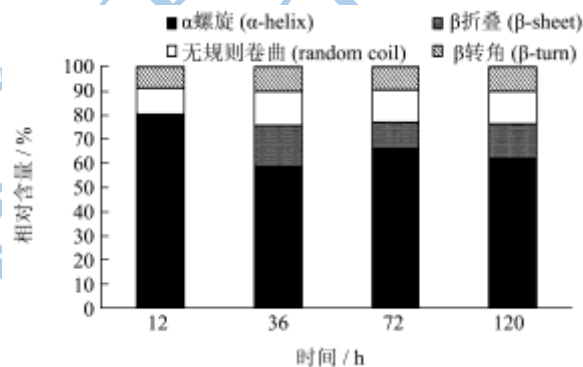


图 4 对照组鹅肉蛋白质二级结构相对含量的变化

Fig.4 Relative changes in the secondary structure content of goose muscle proteins of control group samples

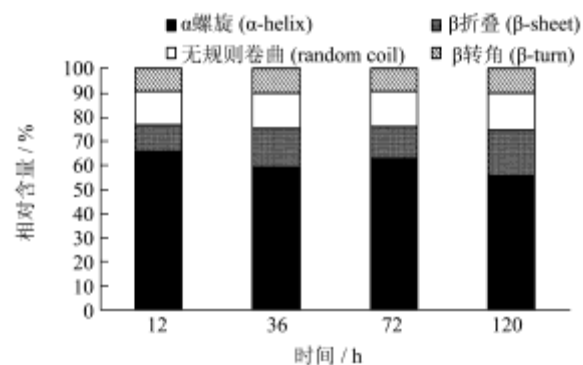


图 5 轻度滚揉鹅肉蛋白质二级结构相对含量的变化

Fig.5 Relative changes in the secondary structure content of goose muscle proteins after tumbling for 10 min

参照 Alix^[26]的方法计算了蛋白质二级结构几种构象的含量, 结果如图 4~6 所示。如图 4, 不滚揉鹅肉 α -螺旋结构含量在 12 h 高达 80.48%, 而此时 β -折叠构象含量几乎为零; 12~36 h 期间, 该组鹅肉蛋白 α -螺旋结构含量减少 21.13%, 而 β -折叠、无规则卷曲结构含量

分别增加 16.4% 和 3.39%。由此可推断, 在 12~36 h 内不滚揉鹅肉蛋白 α -螺旋结构主要向 β -折叠和无规则卷曲发生了转化; 到 72 h, α -螺旋结构含量比 36 h 增加 7.06%, 说明部分 α -螺旋结构重新生成。滚揉 10 min 鹅肉在 12 h 时 α -螺旋结构含量为 66.18% (图 5), 显著小于不滚揉鹅肉 ($P<0.01$); 12~72 h 内, α -螺旋结构含量先减小后又增加, 说明了 α -螺旋结构在鹅肉成熟过程中伸展和重新生成, 可能是鹅肉肌原纤维蛋白在成熟过程中发生了重组所致。成熟 12 h, 三组鹅肉中滚揉 30 min 鹅肉中肌原纤维蛋白质 α -螺旋结构含量最少, 为 62.6%; 12~36 h 无变化, 72 h 增加到 65.97%, 120 h 又减少至 58.91%; 同时, β -折叠结构在 76 h 减少到 11.02%, 120 h 又增加到 16.51% (图 6), 表明 α -螺旋主要向 β -折叠结构发生转化。这些变化与酰胺 I 带最大峰偏移的结果相吻合。

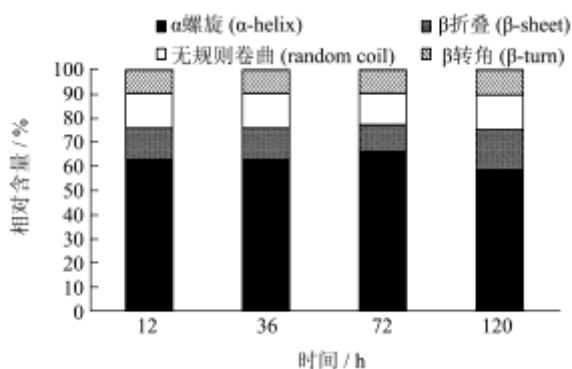


图 6 重度滚揉鹅肉蛋白质二级结构相对含量的变化

Fig.6 Relative changes in the secondary structure content of goose muscle proteins after tumbling for 30 min

表 2 各组鹅肉蛋白拉曼光谱归一化后相对强度的变化

Table 2 Changes of normalized intensities in the Raman spectra for different groups

拉曼位移/cm ⁻¹	处理方法	成熟时间/h			
		12	36	72	120
I ₇₅₇	不滚揉	0.80±0.10 ^a	0.70±0.03 ^a	0.66±0.01 ^b	0.69±0.01 ^b
	滚揉 10 min	0.66±0.01 ^b	0.67±0.05 ^a	0.70±0.02 ^a	0.75±0.03 ^a
	滚揉 30 min	0.67±0.02 ^b	0.69±0.08 ^a	0.70±0.03 ^a	0.76±0.01 ^a
I ₈₅₀ /I ₈₃₀	不滚揉	1.03±0.02 ^a	1.06±0.04 ^a	1.05±0.02 ^a	1.06±0.03 ^a
	滚揉 10 min	1.04±0.02 ^a	1.06±0.01 ^a	1.04±0.02 ^a	1.03±0.02 ^a
	滚揉 30 min	1.05±0.02 ^a	1.05±0.02 ^a	1.04±0.01 ^a	1.04±0.01 ^a
I ₉₃₀	不滚揉	0.88±0.04 ^a	0.79±0.01 ^a	0.78±0.05 ^b	0.80±0.04 ^a
	滚揉 10 min	0.78±0.04 ^b	0.79±0.01 ^a	0.80±0.01 ^b	0.86±0.06 ^a
	滚揉 30 min	0.79±0.04 ^b	0.77±0.02 ^a	0.82±0.01 ^a	0.84±0.01 ^a
I ₁₃₄₀	不滚揉	1.61±0.18 ^b	1.28±0.10 ^c	1.09±0.05 ^b	1.67±0.04 ^b
	滚揉 10 min	1.15±0.04 ^c	1.48±0.03 ^b	1.20±0.03 ^b	1.24±0.06 ^c
	滚揉 30 min	3.01±0.21 ^a	2.43±0.08 ^a	2.16±0.21 ^a	2.40±0.13 ^a
I ₁₄₅₀	不滚揉	1.54±0.17 ^b	1.27±0.05 ^c	1.10±0.02 ^b	1.70±0.10 ^b
	滚揉 10 min	1.14±0.03 ^c	1.46±0.03 ^b	1.17±0.02 ^b	1.19±0.06 ^c
	滚揉 30 min	2.75±0.08 ^a	2.27±0.10 ^a	2.01±0.08 ^a	2.17±0.10 ^a

2.2.3 蛋白质微环境的变化

1340 cm⁻¹ 和 1450 cm⁻¹ 附近谱带的变化主要归因于脂肪族氨基酸微环境的变化, 对疏水相互作用非常敏感。如图 3 和表 2 所示, 12 h, 滚揉 10 min 的鹅肉在 1340 cm⁻¹ 和 1450 cm⁻¹ 处的相对强度显著小于不滚揉组 ($P<0.05$), 而此时滚揉 30 min 鹅肉在 1340 cm⁻¹ 和 1450 cm⁻¹ 处的拉曼相对强度显著大于不滚揉 ($P<0.05$) 和滚揉 10 min ($P<0.01$) 鹅肉; 在整个成熟期间, 滚揉 30 min 鹅肉在在 1340 cm⁻¹ 和 1450 cm⁻¹ 处的拉曼相对强度始终保持较高的水平, 大于其他两组。这一结果表明, 不同的滚揉处理对脂肪族氨基酸周围微环境的影响存在较大的差异, 重度滚揉工艺使鹅肉脂肪族氨基酸疏水相互作用明显加强^[27]。

芳香族氨基酸侧链的一些谱带也可以反映蛋微环境的变化, 例如, 当色氨酸残基从包埋的疏水环境中暴露在极性环境时, 760 cm⁻¹ 附近的谱带相对强度减小^[28]。图 3 中鹅肉蛋白 757 cm⁻¹ 处的拉曼光谱归因于色氨酸残基, 从表 2 可以看出, 不滚揉鹅肉 757 cm⁻¹ 相对强度在 12~72 h 内逐渐减小, 表明色氨酸逐渐暴露, 而两组滚揉样品在 757 cm⁻¹ 处的相对强度逐渐增大, 可能是滚揉后鹅肉疏水残基暴露引起^[29]。

830 和 850 cm⁻¹ 附近的酪氨酸残基引起的双峰是观测酪氨酸周围微环境的很好的探针。由表 2 可见, 各组的 I₈₅₀/I₈₃₀ 值均在 1.0~1.1 之间波动, 表明酪氨酸暴露在极性环境中或同时作为受体和中到弱的氢键供体^[30]。总体来说, 不同处理间该位置拉曼强度差异不明显。

注：所有数据表示为平均值±标准差，n=3。同列中标注不同角标者具有显著性差异 (P<0.05)。

3 结论

轻度滚揉和重度滚揉均可改善鹅肉的嫩度。重度滚揉（滚揉 30 min）比轻度滚揉（滚揉 10 min）鹅肉蒸煮损失率小，剪切力小，肉质更嫩。鹅肉嫩度的变化可能与蛋白质二级结构 α -螺旋和 β -折叠以及无规则卷曲结构的转变有关，但 β -转角构象在整个试验过程中变化不明显。滚揉可能破坏 α -螺旋结构或促使它向其他结构转化；不滚揉鹅肉中 α -螺旋含量最高，随滚揉强度的增加， α -螺旋结构减少， β -折叠含量增加。滚揉对微环境的影响主要是影响脂肪族氨基酸的疏水相互作用，重度滚揉鹅肉蛋白脂肪族氨基酸的疏水相互作用显著增加。

参考文献

- [1] 杨勇,任健,王存堂,等.姜汁在鹅肉嫩化中的初步研究[J].食品科技,2012,5:117-119
YANG Yong, REN Jian, WANG Cun-tang, et al. Application of ginger in goose meat tenderization [J]. Food Science and Technology, 2012, 5: 117-119
- [2] 高海燕,潘润淑,马汉军.超高压技术对鹅肉嫩度的影响[J].食品科学,2011,32(8):107-110
GAO Hai-yan, PAN Run-shu, MA Han-jun. Effect of ultra-high pressure treatment on tenderness of goose breast meat [J]. Food Science, 2011, 32(8): 107-110
- [3] Cao J, Yu X, Khan M A, et al. The effect of calcium chloride injection on shear force and caspase activities in bovine longissimus muscles during postmortem conditioning [J]. Animal, 2012, 6(6): 1018-1022
- [4] Fernandez X, Lahirigoyen E, Auvergne A, et al. The effects of stunning methods on product qualities in force-fed ducks and geese. 1. Carcass downgrading and meat quality [J]. Animal, 2010, 4(1): 128-138
- [5] Hwang I H, Lin C W, Chou R G R. Effect of lactic or acetic acid on degradation of myofibrillar proteins in post-mortem goose (*Anser anser*) breast muscle [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(2): 231-236
- [6] Demin Y. The processing technology and quality control of western style ham [J]. Meat Research, 2006, 12(94): 24
- [7] Hullberg A, Johansson L, Lundström K. Effect of tumbling and RN genotype on sensory perception of cured-smoked pork loin [J]. Meat Science, 2005, 69(4): 721-732
- [8] Hullberg A, Bertram H C. Relationships between sensory perception and water distribution determined by low-field NMR T2 relaxation in processed pork-impact of tumbling and RN- allele [J]. Meat Science, 2005, 69(4): 709-720
- [9] 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
- [10] Alvarado C Z, Sams A R. Early postmortem injection and tumble marination effects on broiler breast meat tenderness [J]. Poultry Science, 2004, 83(6): 1035-1038
- [11] Bauermeister L J, McKee S R. Utilizing marination and vacuum tumbling techniques to optimize tenderness of breast fillets deboned early post-mortem [C]//Proceedings of the XVII European Symposium on the quality of poultry meat and XI European Symposium on the quality of eggs and egg products, golden tulip parkhotel doorwerth, doorwerth, netherlands, 23-26 May 2005. World's Poultry Science Association (WPSA), 2005: 76-81
- [12] Schroeder D J. Effect of vacuum tumbling time, salt level, and phosphate alternatives on processing characteristics of natural deli-style turkey breast [J]. Digital Commons @ University of Nebraska-Lincoln, 2013
- [13] 詹文园.肉制品加工中变压滚揉腌制技术研究[D].无锡:江南大学,2008
ZHAN Wen-yuan. Study on pressure-transform tumble curing technology in meat processing [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [14] 陈倩,李沛军,孔保华.拉曼光谱技术在肉品科学研究中的应用[J].食品科学,2012,33(15):307-313
CHEN Qian, LI Pei-jun, KONG Bao-hua. Application of raman spectroscopy technique in meat science: a review [J]. Food Science, 2012, 33(15): 307-313
- [15] De Huidobro F R, Miguel E, Blázquez B, et al. A comparison between two methods (warner-bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat [J]. Meat Science, 2005, 69(3): 527-536
- [16] Careche M, Herrero A M, Rodriguez-Casado A, et al. Structural changes of hake (*Merluccius merluccius* L.) fillets: effects of freezing and frozen storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(3): 952-959
- [17] 史培磊,闵辉辉,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
SHI Pei-lei, MIN Hui-hui, LI Chun-bao, et al. Changes in meat quality characteristics of goose breast muscle after tumbling [J]. Food Science, 2011, 32(11): 88-92

- [18] 苑瑞生,梁荣蓉,罗欣.滚揉时间和食盐浓度对鸡肉调理制品的保水性及盐溶性蛋白质溶出量的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(1):162-166
FAN Rui-sheng, LIANG Rong-rong, LUO Xin. Effects of tumbling time and salt concentration on the water-hold capability and dissolved salt soluble protein content of chicken products [J]. Food and fermentation industries, 2011, 37(1): 162-166
- [19] Li Chunbao, Szczepaniak S, Steen L, et al. Effect of tumbling time and cooking temperature on quality attributes of cooked ham [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(10): 2159-2163
- [20] 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
- [21] Herrero A M, Carmona P, Careche M. Raman spectroscopic study of structural changes in hake (*Merluccius merluccius* L.) muscle proteins during frozen storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(8): 2147-2153
- [22] Beattie R J, Bell S J, Farmer L J, et al. Preliminary investigation of the application of Raman spectroscopy to the prediction of the sensory quality of beef silverside [J]. Meat Science, 2004, 66(4): 903-913
- [23] Kabsch W, Sander C. Dictionary of protein secondary structure: pattern recognition of hydrogen-bonded and geometrical features [J]. Biopolymers, 1983, 22(12): 2577-2637
- [24] Schmidt H, Scheier R, Hopkins D L. Preliminary investigation on the relationship of Raman spectra of sheep meat with shear force and cooking loss [J]. Meat Science, 2013, 93(1): 138-143
- [25] 孙为正.广式腊肠加工过程中脂质水解,蛋白质降解及风味成分变化研究[D].广州:华南理工大学,2011
SUN Wei-Zheng. Studies on lipolysis, proteolysis and flavor compounds during processing of Cantonese sausage [D]. Guangzhou, South China University of Technology, 2011
- [26] Alix A J P, Pedanou G, Berjot M. Fast determination of the quantitative secondary structure of proteins by using some parameters of the Raman amide I band [J]. Journal of Molecular Structure, 1988, 174: 159-164
- [27] SHAO Jun-hua, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian, et al. Evaluation of structural changes in raw and heated meat batters prepared with different lipids using Raman spectroscopy [J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2955-2961
- [28] Li-Chan E C Y. The applications of Raman spectroscopy in food science [J]. Trends in Food Science & Technology, 1996, 7(11): 361-370
- [29] XU Xiang-lian, HAN Min-yi, FEI Ying, et al. Evaluation of structural changes in raw and heated meat batters prepared with different lipids using Raman spectroscopy [J]. Meat Science, 2011, 87(3): 159-164
- [30] Li-Chan E, Nakai S, Hirotsuka M. Raman spectroscopy as a probe of protein structure in food systems [M]. US: Springer, 1994