



蛋白质降解对猪肉制品品质影响的研究进展

耿翠竹¹, 王海滨^{1,2,*}, 崔莹莹¹, 胥伟^{1,2}, 陈季旺^{1,2}, 王琦¹, 熊幼翎^{2,3}

(1.武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023; 2.农产品加工湖北省协同创新中心, 湖北 武汉 430023;

3.美国肯塔基大学动物与食品科学系, 美国 列克星敦 KY40546)

摘要: 蛋白质不仅是生命体最重要的且是除水分外含量最高的组成成分之一, 也是食品主要的成分之一。在肉与肉制品中, 蛋白质和氨基酸不仅是主要营养素, 也是形成产品质构、风味和色泽的物质基础, 并具有乳化、凝胶和稳定等多种功能作用。因此, 肉与肉制品中蛋白质的降解会对产品品质有很大的影响。本文主要综述了猪肉蛋白质的主要种类、蛋白质降解伴随着的结构和组成的变化、蛋白质降解对猪肉制品品质的影响以及相关的分析测定研究进展, 旨在为开展相关研究提供参考。

关键词: 蛋白质; 蛋白质降解; 猪肉制品; 品质; 分析检测

A Review of the Influence of Protein Degradation on the Quality of Pork Products

GENG Cuizhu¹, WANG Haibin^{1,2,*}, CUI Yingying¹, XU Wei^{1,2}, CHEN Jiwang^{1,2}, WANG Qi¹, XIONG Youling^{2,3}

(1.College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2.Hubei Collaborative Innovation Center for Processing of Agricultural Products, Wuhan 430023, China;

3.Department of Animal and Food Sciences, University of Kentucky, Lexington KY40546, America)

Abstract: Protein is one of the most important and most abundant components next to water in the living body, and it is also one of the main components in foods. In meat and meat products, proteins and amino acids are not only the main nutrients, but also are the material basis of food texture, flavor and color; besides, they have multiple functions, just like emulsifiers, gelling agents and stabilizers. Therefore, protein degradation in meat and meat products will greatly affect the quality. This article summarizes the main types of meat protein, changes in the structure and composition with protein degradation, and the impact of protein degradation on the quality of pork products. Moreover, the recent progress made in the research of related assays is described as well, aiming to provide a reference for related studies.

Key words: protein; protein degradation; pork products; quality; detection and analysis

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.02.008

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2016) 02-0035-05

引文格式:

耿翠竹, 王海滨, 崔莹莹, 等. 蛋白质对猪肉制品品质的影响及其分析研究进展[J]. 肉类研究, 2016, 30(2): 35-39.

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.02.008. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

GENG Cuizhu, WANG Haibin, CUI Yingying, et al. A review of the influence of protein degradation on the quality of pork products[J].

Meat Research, 2016, 30(2): 35-39. (in Chinese with English abstract) DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.02.008. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

蛋白质一直是食品化学领域的一个研究热点。蛋白质因分子质量大小不同会对其化学性质有不同的影响, 分子质量较小的蛋白质可溶于水, 一般称之为水溶性蛋白; 分子质量偏大、在盐的作用下能溶于盐水的一般就称为盐溶性蛋白, 分子质量再大一些就不能溶于水了, 这些蛋白质既不利于消化, 也很难参与反应, 就是

所谓的营养价值低的粗蛋白^[1-2]。在猪肉中, 典型的盐溶性蛋白是肌原纤维蛋白, 典型水溶性蛋白是肌浆蛋白。蛋白质降解包括蛋白质的水解和氧化, 但在过去几十年, 人们对脂质的研究比较多, 而忽视了蛋白质氧化在食品体系中产生并可能造成的影响^[3]。蛋白质氧化会导致蛋白质主链和氨基酸残基侧链的变化, 如肽主链的断

收稿日期: 2015-10-28

基金项目: 湖北省自然科学基金面上项目 (2014CFB886)

作者简介: 耿翠竹 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉禽深加工机理与技术。E-mail: gengcz1124@163.com

*通信作者: 王海滨 (1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉禽深加工机理与技术。E-mail: whb6412@163.com

裂、氨基酸残基侧链的羰基化等。有研究表明,蛋白质氧化可以显著影响干腌火腿的品质,造成硬度增加和多汁性降低,这可能是因为蛋白质溶解性降低和蛋白质之间发生交联所致^[4]。

1 猪肉中蛋白质的分类、性质及结构

猪肉中除水分外的主要组分是蛋白质和脂质,其中肌肉中蛋白质含量高达20%,肌肉中的蛋白质依据其在肌肉组织上位置的差异可分为4类,即:肌原纤维蛋白质、肌浆蛋白质、肉基质蛋白质、颗粒蛋白质^[5-7]。研究较多的是前三类。

1.1 肌原纤维蛋白

肌原纤维蛋白也称为盐溶性蛋白,属于收缩性蛋白,是肌肉中最重要的蛋白质,约占总蛋白含量的50%^[5],通常可利用离子强度大于0.5 mol/kg的高浓度盐溶液抽提出来,但蛋白质被抽提出来后,又可溶于低离子强度的盐溶液。属于这类蛋白质的有:肌球蛋白、肌动蛋白、原肌球蛋白、肌原蛋白、 α -肌动蛋白素、M-蛋白等。

肌球蛋白是肌肉中含量最高同时也是最重要的蛋白质,大约占肌原纤维蛋白质的50%,是粗丝的主要成分之一,构成肌节的A带^[8]。肌球蛋白含有2条相同的长肽链和4条短肽链^[9],长肽链的分子质量为220 kD,又称之为重链,短链也被称为轻链。肌球蛋白含有两个球状的头部和一个杆状的尾部。肌球蛋白一般不溶于水或微溶于水,在中性盐溶液中可以溶解,在53℃左右能发生凝固形成黏性凝胶,在饱和NaCl或 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液中可盐析沉淀。肌球蛋白可与肌动蛋白结合形成肌动球蛋白,肌动球蛋白与肌肉的收缩直接有关^[8]。

1.2 肌浆蛋白

肌浆蛋白是代谢性蛋白质,主要包含肌溶蛋白、肌红蛋白、肌浆酶、肌粒蛋白、肌质网蛋白等,这些蛋白溶于水,是肌肉中最容易提取的蛋白质^[10]。其中肌溶蛋白属于清蛋白类的单纯蛋白质,存在于肌原纤维之间。肌溶蛋白易溶于水,将肉用水浸透可以溶出;很不稳定,易发生变性沉淀。肌红蛋白是一种复合性的色素蛋白质,是影响肉色的关键性蛋白^[11],由一分子的珠蛋白和一个亚铁血色素结合而成,为肌肉呈现红色的主要成分。肌红蛋白中铁离子的价态和与氧结合的位置是导致其颜色变化的根本所在。

1.3 肉基质蛋白

肉基质蛋白属于结缔组织蛋白质,是形成肌内膜、肌束膜、肌外膜以及腱的主要成分。包括胶原蛋白、弹性蛋白、网状蛋白及黏性蛋白等,主要存在于结缔组织的纤维和基质中。

胶原蛋白主要存在于白色结缔组织中^[12],是构成胶原纤维的主要成分,大约占胶原纤维固形物的85%。胶原蛋白中含有大量的甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸,脯氨酸和羟脯氨酸为胶原蛋白所特有,其他蛋白质几乎没有。

2 蛋白质的降解

蛋白质在猪肉加工制品(如腊肉、火腿等腌腊制品)中会发生降解,使蛋白质的化学结构发生一定的变化,同时会产生一些低分子物质,如肽、氨基酸、醛、有机酸和胺等,这些物质或 directly 是风味物质或是重要的风味前体物质^[6,13-14]。其中,小分子肽类物质和游离氨基酸可以通过Strecker降解或美拉德反应,生成一些挥发性风味物质^[15],对猪肉制品的风味形成具有重要的作用。因此,研究蛋白质的降解规律对于科学认识猪肉制品的品质及风味形成具有重要的意义。

2.1 蛋白质降解产生的结构变化

蛋白质降解导致的结构变化很复杂,如羰基化、肽主链的断裂以及分子间二硫键的形成是蛋白质结构变化的基本机制^[16]。其中,氨基酸残基侧链的羰基化、羧基化等是蛋白质氧化产生的主要变化^[1]。

蛋白质降解会导致蛋白聚合物或者碎片的产生。Xiong Youling L.等^[17]发现分子间二硫键的形成会导致蛋白质的聚集。吴满刚等^[18]在研究中式香肠时,也发现在其加工过程中蛋白质的相互作用力发生了显著变化,主要表现为随着蛋白质氧化的进行,加工后期稳定香肠中蛋白质的作用力主要有氢键、疏水作用力和二硫键。还有研究发现羰基化^[19]以及蛋白质与非蛋白羰基化合物如丙二醛等的共价作用^[20-22]也会导致蛋白质分子聚集。蛋白质构象的变化会暴露出一些氨基酸基团,如含硫氨基酸等。

孙为正^[22]在研究广式腊肠加工过程中蛋白质的降解规律时发现,蛋白质相互作用力有显著变化,二硫键的含量显著升高;这说明二硫键稳定蛋白质结构的作用显著增强;烘烤结束后稳定蛋白质的作用力主要是氢键、疏水相互作用和二硫键;圆二色谱结果显示广式腊肠加工过程中肌浆蛋白的二级结构变化显著,主要表现为 α -螺旋含量下降而 β -折叠含量上升;广式腊肠的加工过程中肌原纤维蛋白的结构发生显著变化,红外光谱和拉曼光谱结果显示肌原纤维蛋白在加工过程中有重组现象。蛋白质降解在所有的这些变化中起到关键作用。

2.2 蛋白质降解产生的成分变化

大量研究资料表明,各种猪肉制品在其加工过程中,因加工时间的不同,蛋白质都会发生不同程度的降解,其他一些相关含氮化合物的含量也会发生变化^[23]。同时,在猪肉制品的加工过程中,蛋白质中的肌原纤维

蛋白和肌浆蛋白均得到降解,表现为大分子物质种类和含量减少,产生了多种小分子物质,这种降解主要是由组织蛋白酶引起。蛋白质发生的主要生化化学反应大致如图1所示。

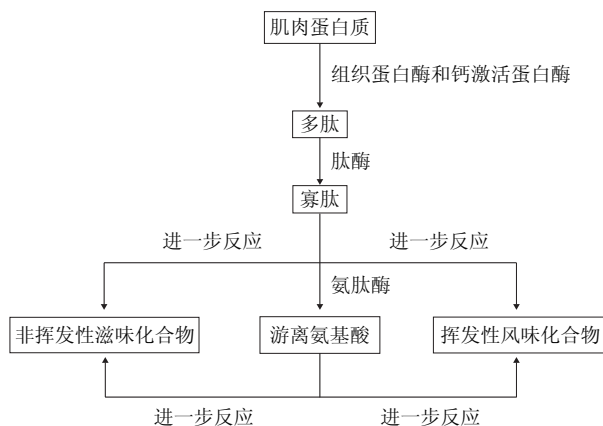


图1 蛋白质降解过程示意图

Fig.1 Schematic diagram of protein degradation process

Martin等^[24]研究火腿的蛋白质降解规律时发现,火腿中的肽、含氮化合物及羰基化合物的含量只在火腿加工的最初阶段呈现上升趋势,而非蛋白态氮和多肽的含量在火腿的整个加工过程中都处于上升,同时还发现在火腿的整个加工过程中氨基酸的含量呈现先上升随后持续下降的趋势。

孙为正^[22]研究发现非蛋白态氮主要是蛋白质的降解产物,其对风味形成起着非常重要的作用。经分析,在腊肠的整个加工过程中肌原纤维蛋白和肌浆蛋白的含量显著下降的原因主要有两个:一是热作用导致这两种蛋白变性,改变了它们的溶解性,从而变成碱溶性蛋白;二是因为它们发生了降解变成非蛋白态氮。

Toldra等^[25]从西班牙干腌火腿中提取肌浆蛋白,对其进行十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳,通过分析电泳图谱发现,肌浆蛋白在干腌火腿加工的3.5个月内会发生显著降解,之后的加工阶段内降解不显著。图谱显示,肌浆蛋白降解主要产生分子质量在25~45 kD和14~21 kD两个范围内的蛋白质片段和多肽。

Cordoba等^[26]从Berina火腿中提取肌原纤维蛋白并研究其降解情况时发现,在火腿加工过程中分子质量为27、92.5、140、160、220 kD的蛋白质片段逐渐降解,形成一些小分子的多肽和蛋白质片段,在最终成品火腿中上述片段几乎完全消失;同时发现肌原纤维蛋白在火腿腌制期和晾晒期的降解最为显著。大量研究表明,在火腿制品的加工过程中蛋白质会发生显著地降解,并且在肌肉蛋白质中,肌浆蛋白质的降解作用最为显著^[22],其次是肌原纤维蛋白,而肉基质蛋白在火腿的整个加工过程中降解都不显著^[27]。

2.3 蛋白质降解对猪肉制品品质的影响

2.3.1 蛋白质降解对猪肉制品品质的不利影响

肌肉蛋白质除了参与肌肉的收缩,与肌肉的嫩度有关外,还与肉制品的流变学特性有着密切的关系^[10]。肌肉蛋白质的降解会造成蛋白质分子结构的变化,从而对肉制品的流变特性有很大的影响。由于分子结构发生变化改变了原有的稳定性,所以会对肉制品的品质造成不利的影响。

猪肉制品中蛋白质降解的影响具有二重性,主要取决于具体的降解条件。有研究发现肌原纤维蛋白的凝胶和乳化可以在较弱氧化环境下得到提高,但过度氧化后蛋白质的过度聚集反而会导致凝胶结构和刚性变差^[28]。pH值的变化对蛋白质的凝胶结构也有类似影响^[29]。

猪肉制品的持水性除了受pH值变化、蒸煮、腌制等因素的影响外,还与肌肉中蛋白质氧化也有密切关系。有研究者发现高氧气调包装贮藏增加了肉的滴水损失,降低了其多汁性^[30]。但是肉制品失水会造成经济损失,还对猪肉及其制品的颜色、风味和组织状态有很大的影响。潘君慧等^[31]也发现蛋白质氧化会使肌肉组织解冻汁液流失率增加、持水力下降。因此,在实际生产中,要尽量采取措施控制蛋白质氧化的发生,减少其带来的不必要损失。

2.3.2 蛋白质降解对猪肉制品品质有利的影响

当然,蛋白质降解也能对一些肉制品的品质带来很多有利的影响,在猪肉制品中,蛋白质的降解产物主要对肉制品的风味形成有重要作用。

竺尚武等^[32]在金华火腿风味物质的研究中表明,水溶性含氮物质是主要的水溶性风味物质的来源,金华火腿成品干基中游离氨基酸总量是鲜肉含量的15.2倍,干基中游离谷氨酸的含量是鲜肉含量的61.8倍,其中游离谷氨酸的含量是谷氨酸鲜味阈值的18倍,其他氨基酸也是如此。

Toldra等^[33]在对西班牙火腿的研究中发现,谷氨酸等11种氨基酸的含量与火腿加工时间的长短有很大的相关性,加工时间越长,游离氨基酸的含量相对越高,从而使火腿的风味越浓郁。

游离氨基酸能通过降解作用或与其他物质发生反应生成重要的挥发性风味物质^[34],如醇、醛、酮、酯等,而大量挥发性化合物和水溶性含氮物质构成了干腌火腿的特殊风味^[35]。

3 蛋白质降解相关的分析检测指标及其研究

蛋白质降解造成的分子结构和理化性质变化很复杂,主要是水解和氧化作用产生的变化,包括羰基化、分子间二硫键的形成、巯基的形成、粒径的变化等;蛋白质的主



要降解产物是一些小分子物质,如肽、氨基酸、醛、有机酸和胺等,其中的肽和氨基酸不仅是重要的呈味物质,还是主要的风味前提物质,因此,检测这些小分子物质的含量是分析蛋白质降解情况的重要方法。下面介绍几个重要的蛋白质降解相关的指标分析方法。

3.1 硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)值的测定

测定TBARs值的实质是油脂氧化产物丙二醛与2-硫代巴比妥酸发生呈色反应,生成的化合物在532 nm波长处有最大吸收值,利用此性质测出丙二醛含量,从而推导出油脂酸败的程度,现在也有研究者将这个指标用于蛋白质的氧化产物的测定。潘君慧^[31]测定TBARs值的方法是,取经完全解冻后的样品,剔除肉块表面的筋、腱、膜、皮及脂肪,用斩拌机至少斩拌两次,混合均匀,称取适量样品,加入一定量含三氯乙酸、没食子酸丙酯、EDTA的混合溶液,均质,过滤,将2-硫代巴比妥酸溶液与等体积的滤液混合,沸水浴,在对应波长下测吸光度,结果以样品中丙二醛含量计。

Ulu^[36]检测TBARs的方法是,称取适量样品,加入一定量三氯乙酸和丁基羟基茴香醚,均质、过滤、定容,取部分滤液于试管中,加入硫代巴比妥酸,水浴加热1 h后,冷却,在532 nm波长下测吸光度。空白用去离子水代替。均质前加入磺胺。结果以样品中丙二醛含量计。

以上将国内外较常用的测TBARs值的方法各列了一种,经比较可知两种方法都是用三氯乙酸沉淀蛋白质以除去其影响后,再使蛋白质降解产物中的丙二醛与硫代巴比妥酸发生显色反应。但样品不同,所以样品前处理中加入的辅助试剂有所差异,但基本的操作流程都大同小异。

3.2 羰基值的测定

蛋白质的氧化一般采用羰基值表征。Levine等^[37]检测羰基含量的方法是,将蛋白质溶液与含2,4-二硝基苯肼的盐酸溶液混合于聚乙烯离心管中,常温下反应一段时间。空白样品反应液中不含2,4-二硝基苯肼。然后加入三氯乙酸,振荡、离心、去沉淀,蛋白沉淀用乙醇-乙酸乙酯溶液洗涤后,将蛋白质悬浮于盐酸胍溶液中,水浴保温。以空白为对照读取样品在370 nm波长处的吸光度,蛋白质羰基浓度用摩尔消光系数22.0 mmol/(L·cm)来计算。

3.3 粒径分布的测定

应用动态光散射仪,测定在恒温过程中肌原纤维蛋白粒径分布。仪器参数设定为:在633 nm激光波长下检测(检测温度173℃)^[31],多次扫描,结果取平均值。

3.4 游离氨基酸含量的测定

现在测定游离氨基酸含量比较常用的方法是高效液

相色谱法,色谱条件大同小异,但样品的前处理却大不相同。

样品前处理:取经24 h解冻后的样品,剔除肉块表面的筋、腱、膜、皮及脂肪,用斩拌机至少斩拌两次,混合均匀。取混匀的样品至少200 g,冷冻干燥48 h,真空包装备用。检测方法:取适量经冷冻干燥的样品→加4 mL甲醇→振荡30 min→溶液置于-26℃保存至少10 h→1 300 r/min离心16 min→取上清液1 mL,在室温下用空气吹干→加2 mL乙醇→振荡30 min→溶液置于-26℃保存至少10 h→1 300 r/min离心16 min→取上清液,在室温下用空气→加0.2 mL蒸馏水→振荡30 min→溶液置于-26℃保存至少10 h→1 300 r/min离心16 min→取上清液→过0.45 μm水相膜→Waters高效液相色谱法分析。

竺尚武等^[32]测定游离氨基酸的方法是,样品切碎,烘干粉碎,取适量粉样溶于乙醇中,水浴萃取,取上清液,重复上述步骤3次,用乙醇洗涤残渣,滤液并入上述上清液中,水浴除去溶液中的乙醇,将除去乙醇的溶液移入分液漏斗中,加乙醚萃取脂肪,取水层,水浴蒸干备用,用盐酸溶解定容,离心,取上清液上机。

显然,第1种方法比第2种方法复杂很多,但第1种方法测得的结果更精确,若需精确测定游离氨基酸含量,可选用第1种方法,若只需得出游离氨基酸的大致含量,第2种方法更简练。

3.5 呈味肽的分离纯化和测定

一般用膜分离的方法分离纯化不同分子质量的肽。Buscailon等^[38]提取肽的方法是:取经完全解冻后的样品,剔除肉块表面的筋、腱、膜、皮及脂肪,用斩拌机至少斩拌两次,混合均匀,称取适量样品,加入柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液,在冰浴中高速匀浆,冷藏放置2 h后,冷冻离心,过滤,用缓冲液定容。一部分用凯氏定氮法测定可溶性总氮,另外一部分用于肽的膜分离。

陶正清等^[39]纯化呈味肽的方法是:提取液经聚丙烯滤膜(50 mm)过滤后,用分子质量截留3 000 D的超滤膜在25℃、0.4 MPa的条件下进行超滤,收集通过超滤膜的滤液组分。滤过液在相同条件下通过分子质量截留200 D的纳滤膜,收集纳滤膜截留的浓缩液组分。将上述步骤得到的分子质量在200~3 000 D之间的呈味肽浓缩液冷冻干燥,-20℃保藏备用,用电子舌测定味道。

4 结 语

蛋白质一直是食品化学中经久不衰的研究对象,它不仅在人体内有重要的生理功能,对肉与肉制品的品质也有不可替代的重要影响。蛋白质的降解对肉与肉制品的影响具有二重性,一方面蛋白质降解有使鲜肉变色,



蛋白质微观结构受到破坏,肉及肉制品持水能力降低,降低蛋白质的凝胶结构和刚性等弊端,所有这些弊端严重影响肉与肉制品的加工性能和营养品质,所以从这个角度来讲应尽量采取措施控制食品中蛋白质降解的发生,以防止带来不必要的损失;另一方面,蛋白质降解能产生肽类、氨基酸等小分子物质,这些小分子物质不仅是重要的呈味物质,也是主要的风味前体物,故而蛋白质降解可使猪肉制品产生特殊的风味。现代生活水平越来越高,人们早已不能满足吃饱的基本要求,更加注重的是吃好,因此,近年来,越来越多的人着手研究由蛋白质降解形成的不同风味的食品。蛋白质降解的弊端不容忽视,益处亦值得有效利用,但如何在两者之间寻求平衡点在今后的研究中应引起重视;另外,肌肉蛋白质种类较多,不同类型的蛋白质的降解规律及对肉品质影响的大小和差异在哪里?蛋白质降解与脂质降解的关系如何?这些问题也值得研究。因此对肉与肉制品中蛋白质的降解途径及其降解产物进行深入系统地研究,对于分析了解肉与肉制品蛋白质的性质、优化确定肉与肉制品加工和贮藏工艺技术具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 王艳萍. 生物化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013.
- [2] 陈微. 蛋白质纯化指南[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [3] 姜晴晴, 鲁璐, 叶兴乾, 等. 肉制品中蛋白质氧化的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 386-389. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.23.074.
- [4] FUENTES V, VENTANAS J, MORCUENDE D, et al. Lipid and protein oxidation and sensory properties of vacuum-packaged dry-cured ham subjected to high hydrostatic pressure[J]. Meat Science, 2010, 85(3): 506-514. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.02.024.
- [5] 杨龙江, 南庆贤. 肌肉蛋白质的热诱导凝胶特性及其影响因素[J]. 肉类工业, 2001(10): 39-42. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2001.10.017.
- [6] 曾洁, 刘寿. 腌腊肉制品生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [7] 吴佳莉, 路红波. 肉制品生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [8] 葛长荣, 马美湖. 肉与肉制品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.
- [9] 李继红. 不同种类肉盐溶蛋白凝胶特性的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2004. DOI:10.7666/d.y612519.
- [10] 何燕, 彭增起, 赵立艳, 等. 肌浆蛋白对牛肉匀浆物凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 193-196.
- [11] 戴研. 欧姆加热对猪肉蛋白质降解、氧化以及凝胶特性的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [12] 李亚蕾. 肉乳加工实用技术[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2010.
- [13] 周芳伊, 张泓, 黄峰, 等. 肉制品风味物质研究与分析进展[J]. 肉类研究, 2015, 29(7): 34-37.
- [14] 喻倩倩, 朱亮, 孙承锋, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析烧肉中挥发性风味成分[J]. 食品工业, 2014(7): 251-255.
- [15] 欧全文, 王卫, 张嵩, 等. 肉类风味的研究进展[J]. 食品科学, 2012, 37(12): 107-110.
- [16] LUND M N, HEINONEN M, BARON C P, et al. Protein oxidation in muscle food: a review[J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2011, 55(1): 83-95. DOI:10.1002/mnfr.201000453.
- [17] XIONG Youling L., PARK D, OIZUMI T. Variation in the cross-linking pattern of porcine myofibrillar protein exposed to three oxidative environments[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(1): 153-159. DOI:10.1021/jf8024453.
- [18] 吴满刚, 吴雪燕, 于海, 等. 中式香肠风干过程中蛋白质氧化对蛋白质聚集、水解性及溶解性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014(7): 193-198. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2014.07.039.
- [19] STADTMAN E R. Protein oxidation and aging[J]. Free Radical Research, 2006, 40(12): 1250-1258. DOI:10.1080/10715760600918142.
- [20] BUTTKUS H. The reaction of myosin with malonaldehyde[J]. Journal of Food Science, 1967, 32(4): 432-434. DOI:10.1111/j.1365-2621.1967.tb09703.x.
- [21] SUMAN S P, FAUSTMAN C, STAMER S L, et al. Redox instability induced by 4-hydroxy-2-nonenal in porcine and bovine myoglobins at pH 5.6 and 4 °C[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(9): 3402-3408.
- [22] 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[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [23] CAROLINA P, FRANCESCO S, MARTIN S, et al. The effect of ripening time on the chemical, textural, volatile and sensorial traits of *Biceps femoris* and *Semimembranosus* muscles of the Slovenian dry-cured ham *Kraški pršut*[J]. Meat Science, 2015, 100: 58-68. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.09.012.
- [24] MARTIN L, ANTEQUERA T, VENTANAS J, et al. Free amino acids and other non-volatile compounds formed during processing of Iberian ham[J]. Meat Science, 2001, 59(4): 363-368. DOI:10.1016/S0309-1740(01)00088-2.
- [25] TOLDRA F, MIRALLES M C, FLORES F. Protein extractability in dry-cured ham[J]. Food Chemistry, 1992, 44(5): 391-394. DOI:10.1016/0308-8146(92)90273-5.
- [26] CORDOBA J J, ANTEQUERA T, VENTANAS J, et al. Hydrolysis and loss of extractability of proteins during ripening of iberian ham[J]. Meat Science, 1994, 37(2): 217-227. DOI:10.1016/0309-1740(94)90082-5.
- [27] 张波. 强化接种调控内源酶对风干羊肉蛋白质降解的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2013.
- [28] LIU G, XIONG Y L, BUTTERFIELD D A. Chemical, physical, and gel-forming properties of oxidized myofibrils and whey-and soy-protein isolates[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(5): 811-818. DOI:10.1111/j.1365-2621.2000.tb13592.x.
- [29] JIANG Jing, XIONG Youling L.. Extreme pH treatments enhance the structure-reinforcement role of soy protein isolate and its emulsions in pork myofibrillar protein gels in the presence of microbial transglutaminase[J]. Meat Science, 2013, 93(3): 469-476. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.11.002.
- [30] LUND M N, LAMETSCH R, HVIID M S, et al. High oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage[J]. Meat Science, 2007, 77(3): 295-303. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.03.016.
- [31] 潘君慧. 冻藏方式、猪肉蛋白氧化及猪肉品质关系的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- [32] 竺尚武, 杨耀寰. 金华火腿口味及呈味物质的研究[J]. 食品科学, 1993, 14(3): 8-11.
- [33] TOLDRA F, FLORES J, VOYLE C A. Study of the white film developed on the cut surface of vacuum-packed dry-cured ham slices[J]. Journal of Food Science, 1990, 55(4): 1189-1191. DOI:10.1111/j.1365-2621.1990.tb01637.x.
- [34] 汪玉霞. 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. DOI:10.7666/d.y774552.
- [35] TOLDRA F. Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products[J]. Meat Science, 1998, 49: 101-110. DOI:10.1016/S0309-1740(98)90041-9.
- [36] ULU H. Evaluation of three 2-thiobarbituric acid methods for the measurement of lipid oxidation in various meats and meat products[J]. Meat Science, 2004, 67(4): 683-687. DOI:10.1016/j.meatsci.2003.12.014.
- [37] LEVINE R L, WILLIAMS J A, STADTMAN E R, et al. Carbonyl assays for determination of oxidatively modified proteins[J]. Method Enzymol, 1994, 233: 346-357. DOI:10.1016/S0076-6879(94)33040-9.
- [38] BUSCAIHO S, MONIN G, CORNET M, et al. Time-related changes in nitrogen fractions and free amino acids of lean tissue of French dry-cured ham[J]. Meat Science, 1994, 37(3): 449-456. DOI:10.1016/0309-1740(94)90060-4.
- [39] 陶正清, 刘登勇, 戴琛, 等. 盐水鸭呈味肽的分离纯化及结构鉴定[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(5): 135-142. DOI:10.7685/j.issn.1000-2030.2014.05.022.