

宰后成熟对鸡肉风味的影响研究进展

徐娜¹, 石金明², 何伟俊², 叶俊杰², 韩敏义^{1,2}, 徐幸莲^{1*}

(1. 南京农业大学食品科技学院, 农业部肉品加工重点实验室, 南京 210095;

2. 温氏食品集团股份有限公司, 云浮 527400)

摘要: 受非洲猪瘟与新冠肺炎双重疫情影响, 国家出台了“规模养殖、集中屠宰、冷链配送、冰鲜上市”16字发展方针。随着各地活禽交易市场的关闭, 经屠宰场统一屠宰的生鲜鸡, 逐渐成为人们消费的主流。风味是影响消费者购买欲的重要因素, 宰后成熟是不宜食用肌肉转变为可食用肉的关键, 在很大程度上影响产品的风味。控制好宰后成熟过程, 健全产品冰鲜流通和配送体系, 保证鲜品的风味, 才能打破传统观念中“即宰即烹”的误区, 提高鸡肉品质。加强鸡胴体宰后成熟进程的控制, 是改善肉品风味的有效途径。本文介绍了鸡胴体宰后成熟过程、风味前体物质的形成以及宰后成熟的控制对鸡肉风味的影响, 以为鸡肉生产加工提供参考。

关键词: 宰后成熟; 风味前体物质; 鸡肉

Research progress on the effect of post-mortem aging on chicken flavor

XU Na¹, SHI Jin-Ming², HE Wei-Jun², YE Jun-Jie², HAN Min-Yi^{1,2}, XU Xing-Lian^{1*}

(1. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Meat Processing, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China; 2. Wen's Food Company, Yunfu 527400, China)

ABSTRACT: Affected by the dual epidemics of African swine fever and new crown pneumonia, the country has issued a 16-character development policy of *scale breeding, centralized slaughter, cold chain distribution, and chilled fresh listing*. With the closure of the live poultry trading market, fresh chickens slaughtered by slaughterhouses have gradually become the mainstream of people's consumption. Flavor is an important factor affecting consumers, and the control of post-mortem aging is the key to turning unsuitable muscle into edible meat, which greatly affects the flavor of the product. Only by controlling the postmortem aging, perfecting the chilled product circulation and distribution system, and ensuring the flavor of fresh products, can we break the traditional concept of *slaughter and cook* and improve the quality of chicken. Strengthening the control of the maturation process of chicken carcass after slaughter is an effective way to improve the flavor of meat. This article reviewed the maturation process of chicken carcass after slaughter, the formation of flavor precursors, and the effect of postmortem aging on chicken flavor, in order to provided reference for chicken production and processing.

KEY WORDS: postmortem aging; flavor precursor substances; chicken

基金项目: 现代农业产业技术体系-肉鸡(CARS-41)、温氏股份科技重大专项(WENS-2020-1-ZDZX-007)

Fund: Supported by the Modern Agricultural Industrial Technology System-Broiler (CARS-41), and Wen's Major Science and Technology Project (WENS-2020-1-ZDZX-007)

*通信作者: 徐幸莲, 博士, 教授, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制。E-mail: xlxu@njau.edu.cn

*Corresponding author: XU Xing-Lian, Ph.D, Professor, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, No.1 Weigang, Xuanwu District, Nanjing 210095, China. E-mail: xlxu@njau.edu.cn

0 引言

鸡肉肉质细嫩、滋味鲜美,富含人体生长发育所需的磷脂类、矿物质及多种维生素,且消化率高,易被人体吸收利用,与猪肉、牛肉、羊肉相比,其高蛋白、低脂肪的特点深受人们喜爱,而且其消费不受宗教信仰限制,成为我国仅次于猪肉的第二大类产品^[1]。2019年受猪肉产量降低影响,鸡肉作为猪肉的最佳替代品,其需求与消费大幅增长。根据农业农村部定点监测的数据与中国畜牧业协会数据分析显示^[2],2019年我国白羽和黄羽肉鸡总出栏数量为89.44亿只,较2018年增长13.20%;鸡肉总产量为1403.87万t,较2018年增长11.40%。随着国民收入水平的提高,鸡肉的消费增长趋势将越来越明显,加快鸡肉及其制品的相关研究刻不容缓。

风味是鸡肉品质的重要指标之一,严重影响消费者购买欲,是人们关注的焦点^[3]。影响鸡肉风味的因素众多,宏观层面上主要有品种、日粮组成、日龄、饲养方式等;微观层面上,肌内脂肪、多肽、核苷酸、氨基酸、硫胺素等风味前体物质含量越高,风味则越好,香味越浓郁^[4]。宏观因素决定微观层面的变化,除此之外,宰前管理、宰后成熟、加工储存与烹饪方法等均会影响鸡肉风味前体物质的含量与变化^[5]。

人们的传统观念认为,鸡胴体从屠宰厂到餐桌的时间越短、越新鲜,“即宰即烹”指屠宰后立即烹饪鸡肉的风味最佳。事实上屠宰后,动物组织内部的肌肉、脂肪等会发生一系列理化性质的改变,该过程称为宰后成熟,只有经过充分成熟的肉才会具备最佳风味^[6]。宰后成熟有助于不宜食用肌肉转变为可食用肉,控制好宰后成熟进程是改善肉品风味的有效途径^[7]。国内外学者针对宰后成熟过程中肉品的品质和风味开展了大量研究,本文以鸡肉为例,分析了不同条件控制下宰后成熟对其风味的影响,以期为肉鸡宰后加工控制提供参考。

1 屠宰后肉的生化变化

动物屠宰之后,会发生同活体内不同的一系列物理化学变化,肌肉会变得比较僵硬,持续一段时间后,其硬度降低,风味增加,适于后期加工,该过程依次为肉的尸僵和解僵成熟过程,使肌肉完成向可食用肉的转化^[8]。宰后肌肉的变化大致分为尸僵、解僵成熟与腐败变质3个阶段^[9],解僵成熟的肉品质与风味较佳,而腐败变质的肉不可再食用。

1.1 尸僵

尸僵又称僵直,指宰后一定时间内,肉的弹性和伸展性逐渐消失,变为紧张、僵硬的状态^[9]。根据僵直状态的不同,可分为迟滞期、急速形成期和僵直后期3个阶段。

僵直前期,弹性以非常慢的速度发生变化,此阶段肌苷酸(inosine monophosphate, IMP)的含量下降、三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)可保持稳定,无氧酵解开始活跃^[10];随着宰后时间的延长,磷酸肌酸耗尽,ATP含量下降,乳酸浓度增加,肌浆网内的钙离子被释放,引起肌肉不可逆收缩,弹性消失,僵直进入急速形成期;ATP含量降为原来的15%~20%,肌肉的延伸性几乎丧失,此时进入僵直后期,硬度比僵直前增加10~40倍^[11]。尸僵肉较硬、有粗糙感、粘结能力低、风味性较差,加热时会产生肉汁流失较多情况,不具备可食肉的特性^[12]。

1.2 解僵成熟

肌肉在宰后冰点以上温度下达到僵直后期并维持一段时间,僵直缓慢解除,肉质变软,系水力和风味得到改善的过程为解僵成熟过程^[11]。解僵成熟机制目前仍存在争论,有钙激活酶学说、钙学说、溶酶体学说、蛋白酶体学说及最近提出的细胞凋亡学说,其中钙激活酶学说比较成熟^[13]。钙激活酶是一类钙离子依赖型的蛋白,正常动物体内,肌浆网可调控钙离子的正常流通,屠宰后ATP耗尽,无氧酵解产生大量乳酸导致pH降低,钙离子调控受限在短时间内迅速增加并与钙激活酶相结合,激发其活性,参与蛋白降解^[14]。成熟过程中肌肉组织发生以下几个变化:①肌原纤维结构中发生Z线降解,生成小片化的肌原纤维;②结缔组织结构松散,由规则、紧密的结构变得无序、松弛,同时肌原纤维上及肌原纤维之间的粘多糖被分解;③肌细胞骨架及相关蛋白:肌间线蛋白、连接蛋白、M线蛋白等发生水解^[11]。动物宰后由于尸僵的发生,一段时间内pH下降、嫩度降低,随后在解僵成熟过程中,pH值回升、保水性增加、风味和嫩度等又会得到改善^[15]。

1.3 肉的自溶与腐败

肉在储藏一定时间后,肉中的组织蛋白酶活性增强,发生自溶,组织蛋白分解,释放硫化氢及其他挥发性物质,产生酸臭味,肌肉颜色暗淡呈红褐色或灰绿色^[16]。腐败变质时,适于肉保存温度生长的细菌大量繁殖形成菌落,使肉的表面发粘、拉丝,肉色改变,恶臭味、酸味、霉味等不良味道增强。

2 鸡肉风味的形成

鸡肉风味受很多因素影响,包括鸡的品种、日粮、日龄、饲养方式、屠宰方式等宰前因素,宰后成熟状态(pH、水分含量、蛋白酶活性)、加工储存以及烹饪方法等,这些因素会影响鸡肉风味前体物质的组成和含量、风味形成反应的进程^[17]。

2.1 风味前体物质

肉中的风味前体物质有两大类:水溶性物质和脂

类^[18]。游离的氨基酸、多肽、核苷酸、核糖、硫酸素是主要的水溶性风味前体物质, 鸡肉的鲜味主要源于水溶性物质中的肌苷酸、谷氨酸等^[19]。脂类则包括脂肪和脂溶性物质, 其中磷脂含有油酸、亚麻酸、花生四烯酸等大量不饱和脂肪酸, 可影响挥发性物质的组成, 进而改变肉品风味^[20]。风味前体物质的生成主要包括肌糖原降解、蛋白质水解、肌苷酸沉积等过程^[21]。

2.1.1 肌糖元降解

宰后动物中的血液循环中止, 供氧中断, 肌糖原在糖原磷酸酶作用下进行无氧酵解, 含量逐渐下降^[22], 糖酵解生成的乳酸不断积累, 使肉的 pH 值降低, 肌原细胞中的溶酶体破裂, 糖原脱支酶释放, 在该酶作用下, 糖原会被分解为葡萄糖、甘露糖、精糊等小分子糖, 当肉的酸度增加达到一定值后, 糖原磷酸酶活性降低甚至失活, 糖酵解结束。小分子单糖会赋予肉甜味, 乳酸及其他有机酸赋予肉酸味^[23]。

2.1.2 蛋白质水解

宰后在内源蛋白酶的作用下, 肌肉蛋白质发生水解, 生产多肽, 多肽一般呈苦味, 其亲脂性残基含量越高, 苦味越强^[24]。多肽进一步降解生成的肌肽、鹅肌肽等小分子肽, 可赋予肉鲜味^[12]。蛋白质与多肽在氨肽酶的作用下, 进一步水解生产游离氨基酸, 不同的氨基酸携带不同的侧链基团, 呈现不同的感官性质。

2.1.3 肌苷酸沉积

肌苷酸又称为次黄嘌呤核苷酸, 是一种芳香族化合物, 可赋予肉鲜味^[23]。动物活体内, ATP 处于合成与分解的动态稳定状态, IMP 含量较少。宰后供养中断, ATP 稳态遭到破坏, 磷酸肌酸耗尽不再提供磷酸高能键时, ATP 便不能再合成, 此时肌肉 pH 下降到一定程度, 达到极限值, 大部分 ATP 被分解, 逐步生成二磷酸腺苷(adenosine diphosphate, ADP)、单磷酸腺苷(adenosine monophosphate, AMP), 在 A 途径下, IMP 在磷酸酶进一步降解产生肌苷(inosine, HxR)、次黄嘌呤(hypoxanthine, Hx)、核糖和磷酸等^[25], 在 B 途径下, 则生成腺嘌呤核苷(adenosine, AdR)再进一步降解, 其代谢途径见图 1^[23]。其中畜禽类中主要为 A 途径^[26]。

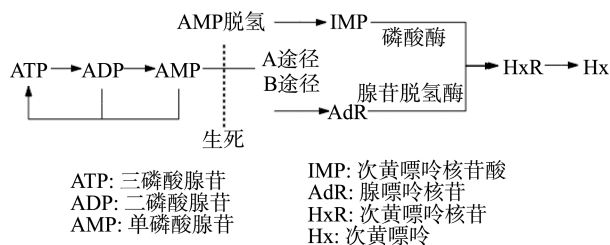


图 1 肌苷酸沉积

Fig.1 Deposition of inosinic acid

2.2 风味化学反应

屠宰后, 鸡胴体会在内源酶作用下, 发生一系列复杂的反应, 增强风味前体物质^[27]。不同的宰后成熟过程会导致风味前体物质的组成及含量变化, 而加工储藏与烹饪方式则主要影响风味化学反应^[26]。加热过程中, 风味前体物质之间相互反应, 产生挥发性风味物质的主要途径包括脂质氧化、美拉德反应(斯特勒克反应即 Strecker 分解是该反应的支路之一)、硫酸素降解^[28], 具体途径见表 1^[29]。

2.2.1 脂质氧化

脂质组成和脂肪酸的含量是影响肉和肉制品风味的重要因素, 鸡肉中的不饱和脂肪酸含量高达 39.00% ~ 40.03%, 远高于牛肉和猪肉, 不饱和脂肪酸极易被氧化, 同时脂质过氧化产生的物质也会对风味产生一定的贡献^[30]。脂肪酸是鸡肉中重要的挥发性风味前体物质, 其氧化可产生烷烃、醛、酮、醇、羧酸、酯、芳香烃以及含氧杂环化合物等数百种挥发性化合物^[31]。从相对含量上来看, 醛类是脂肪酸氧化产生的相对含量最高的物质, 是造成不同肉品风味差异及肉类特征风味主要原因。

2.2.2 美拉德反应

美拉德反应是肉品加热加工过程中最主要的反应, 又称为羰氨反应, 是羰基化合物(还原糖)与氨基化合物(氨基酸、肽、蛋白质、胺)之间经过脱水重排、裂解缩合、聚合等一系列反应, 产生黑色物质并生产挥发性成分的复杂反应^[32]。反应的初始阶段, 还原糖和氨基化合物缩合, 生成葡基胺, 然后经过脱水重排、斯特勒克降解等生成各种各样的中间产物, 最后阶段, 这些化合物又与其他活性化

表 1 风味物质化学反应途径
Table 1 Chemical reaction pathways of flavor substances

风味前体物质	反应途径	风味物质
糖类	焦糖化、美拉德反应	醛类、酮类、醇类、脂肪烃、芳香烃类、呋喃衍生物、羰基化合物等
氨基酸和肽类	美拉德反应、Strecker 分解	噻唑类、噻吩类、含硫化合物、吡咯和吡啶类等
硫酸素	热降解	呋喃、呋喃硫醇、噻吩、噻唑和含硫脂肪族化合物等
脂质	脂质氧化分解	醛类、酮类、醇类、羧酸、脂肪烃、内酯和杂环化合物等

合物如氨基酸、胺、醛、硫化氢等之间发生作用,生成具有鸡肉特征香味物质和芳香化合物^[33]。蒸煮鸡肉中的主要香气成分是芳香族化合物,包括呋喃、吡嗪、吡咯、恶唑、噻吩及其他杂环化合物,其他类的挥发性物质对鸡肉香气贡献作用不大,但有些可能在杂环化合物形成过程中起着重要作用,有助于提高鸡肉整体的风味^[34]。

2.2.3 硫胺素降解

硫胺素又称维生素 B₁,是既含氮又含硫的双杂环化合物,广泛存在于动物体内,在 α -氨基酸与还原糖代谢中间过程中发挥重要作用^[4]。加热过程中,肉中大部分物质受热降解,硫胺素降解产生含氮含硫的中间体,并进一步参与美拉德反应,生成硫化氢、脂肪链硫醇、噻吩、噻唑、硫代呋喃等肉香物质^[35]。

3 宰后控制对鸡肉风味的影响

LIU等^[36]认为宰后成熟是影响鸡肉风味的重要因素,该过程产生糖、有机酸、氨基酸、核苷酸及其代谢物等多种风味化学物质,调控好宰后成熟进程,保证宰后成熟完全,能使鸡肉的特征风味最大化。宰后成熟控制过程的主要影响因素为宰后储藏的温度与时间,除此之外电刺激、加压等物理技术以及浸泡注射、外源蛋白酶等化学技术,均有助于宰后成熟过程,且大部分可促进肌肉的嫩化,提高肉的品质。

3.1 温度与时间

温度是影响生化化学反应的重要因素,鸡胴体宰后储存温度不同,肌肉内一系列复杂反应中的酶活性不同,成熟进展不一致,对风味前体物质的产生造成影响。将鸡胴体置于0~4℃环境中进行宰后解僵成熟为低温成熟,该过程肉的肌原纤维骨架蛋白降解缓慢,成熟后肉的嫩度较好,保水性较高,风味有所提升^[37]。除此之外低温条件还可以抑制微生物的生长,延长货架期^[38]。温度越高,尸僵开始的时间越早,持续的时间越短。

徐昶等^[39]研究了宰后不同环境温度下鸡胸肉ATP的降解过程,鸡胸在4℃和15℃环境中分别存放4h,以0.5h为间隔进行取样,对比ATP、ADP、AMP、IMP含量变化,发现宰后4h中ATP含量逐渐下降,温度越高,下降的速度越快,1h内下降速度最快;ADP、AMP含量呈现先增加后下降的趋势;IMP的含量则不断增加。叶藻等^[40]研究了25℃常温与4℃冷藏条件下鸡肉中游离氨基酸与呈味核苷酸的变化,结果显示常温条件下,宰后6h,腿肉和胸肉的IMP含量均达到最大,而冷藏条件下鸡腿和鸡胸分别在36、48h达到峰值,风味氨基酸占比随时间的变化与IMP相似,但冷藏条件下风味氨基酸占比均高于常温状态,低温可促进风味氨基酸的形成。王虎虎等^[41]对比了热鲜(宰后不经预冷池冷却,在15~24℃条件下储存)1、2、4h与冷鲜(屠宰工艺后4℃储藏的处理组)24、48、60h的黄羽

肉鸡中风味前体物质的差异,结果发现热鲜2h的肌苷酸含量最高,而冷鲜鸡的次黄嘌呤和肌苷含量较高。除此之外,冷鲜鸡的游离氨基酸显著高于热鲜鸡,不饱和脂肪酸无显著性差异,冷鲜鸡与热鲜鸡在风味前体物质的含量上各有优劣,总体上冷鲜鸡可替代热鲜鸡进行黄羽肉鸡的深度加工。陈静茹等^[42]以北京油鸡为对象,对宰后分割的鸡胸进行真空包装,4℃储藏,探究其储藏过程中品质及风味的变化,取样时间分别为0、2、4、6、8d,结果显示不饱和脂肪酸和鲜味核苷酸含量均逐渐下降。

温度是宰后成熟的关键因素,不同温度下不仅成熟时间不同,更会影响鸡肉的货架期与感官品质^[43],ATP降解与肌苷酸沉积、蛋白质水解生产游离氨基酸等反应过程均受温度影响较大,进而导致风味前体物质的差异,冰温贮藏是生鲜鸡的发展趋势。冰温贮藏是一种新型的食品保鲜技术^[44],日本山根博士最早提出“冰温带”的概念,并将其应用到食品,它的本质是非冻结保鲜,食品贮藏是在冻结温度与0℃之间,在该温度范围内可有效阻止冰晶生长、保持食品的水分与质构、保证食品的品质^[45]。葛庆莲等^[46]探讨了-1.5℃冰温储藏与4℃冷藏过程中黄羽肉鸡感官品质与游离氨基酸含量变化,发现冰温储藏不仅能延长鸡肉的货架期,还能产生更多的游离氨基酸,呈甜味的甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、脯氨酸以及具有鲜甜味的天冬氨酸、谷氨酸含量均明显提高,增加了鸡肉的风味。王正荣等^[47]以鸡胸为样,探究了-1.5℃与4℃冷藏条件下基本理化指标及糖酵解相关的磷酸丙酮激酶与乳酸脱氢酶的活性,发现冰温贮藏可降低鸡胸宰后成熟进程推迟2~6h。温度在宰后成熟过程中发挥着重要的作用,不同温度下成熟进程不同,对风味前体物质的组成与含量有较大影响,控制好宰后成熟的温度与时间,可使得鸡肉风味最佳。

3.2 电刺激

电刺激是防止宰后胴体冷收缩,加速肉成熟的方法。宰后1h之内放血完全后,迅速进行电刺激处理可加快肌糖原代谢和ATP降解,使肉的pH迅速下降,一般情况下低压电刺激比高压电刺激效果好^[48]。电刺激在减轻胴体冷收缩的同时,还可以提高肉的嫩度,可能是电刺激破坏了肌浆网的正常功能,改变了肌肉的超微结构^[49]。牛、羊肉宰后熟化过程较长,电刺激应用较多,而鸡、鸭等禽类宰后成熟较快,宰后电刺激处理较少。禽肉中宰前的电击晕应用较多,主要是在宰前通过电击晕的方式减少屠宰过程中动物的痛苦,降低宰前应激,进而提升宰后品质。黄继超^[50]研究了宰前不同参数下的电击晕处理对鸡胴体宰后应激程度、胴体损伤、食品品质等物理指标以及糖原降解能量代谢、蛋白质溶解等化学指标的影响,对低压高频电击晕参数进行了优化,并对比了扑翅与固翅对宰后ATP降解、糖原分解等过程的影响,结果表明低压高频电击晕是击晕方法的发展趋势,且对宰后能量代谢、肌肉成熟过程有重要影响。

4 结束语

鸡肉因其特有的风味深受人们喜爱,已成为日常饮食中必不可少的一部分。在鸡肉屠宰生产加工过程中,不管是风味前体物质的形成还是特征风味物质的产生,都涉及一系列复杂的化学反应,宰后成熟是影响风味前体物质形成的关键,控制好宰后成熟过程,尤其是温度与时间,可使鸡肉风味最佳,改善鸡肉品质。“即宰即烹”是人们的传统观念,研究表明宰后充分成熟才能获得最佳风味,研究宰后成熟对鸡肉风味的影响,寻找鸡肉风味最佳的宰后成熟时间,不仅能改变人们的传统观念,还可为鸡肉的屠宰生产加工提供参考。

参考文献

- [1] 文杰. 国内外肉鸡产业现状及未来发展对策[J]. 北方牧业, 2016, (2): 18-19.
WEN J. The status quo of domestic and foreign broiler industry and future development strategies [J]. North Anim Husb, 2016, (2):18-19.
- [2] 辛翔飞, 郑麦青, 文杰, 等. 2019 年肉鸡产业形势分析、未来展望与对策建议[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(3): 155-159.
XIN XF, ZHENG MQ, WEN J, *et al.* Situation analysis, future prospects and counter measures of the broiler industry in 2019 [J]. China J Anim Husb, 2020, 56(3): 155-159.
- [3] JAYASENA DD, JUNG S, KIM HJ, *et al.* Taste-active compound levels in Korean native chicken meat: The effects of bird age and the cooking process [J]. Poul Sci, 2015, 94(8): 1964-1972.
- [4] 李耀. 浅谈鸡肉风味物质的呈味机理[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 446-449, 452.
LI Y. Discussion on the flavor mechanism of chicken flavor substances [J]. Food Ind Sci Technol, 2011, 32(3): 446-449, 452.
- [5] 崔小燕, 苟钟勇, 蒋守群, 等. 鸡肉风味的形成机制与调控研究进展[J]. 动物营养学报, 2019, 31(2): 500-508.
CUI XY, GOU ZY, JIANG SQ, *et al.* Research progress on the formation mechanism and regulation of chicken flavor [J]. Chin J Anim Nutr, 2019, 31(2): 500-508.
- [6] 屈文娜. 宰后成熟程度对扒鸡特征品质形成的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
QU WN. The effect of post-slaughter maturity on the formation of characteristics and quality of grilled chicken [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [7] KRISTENSEN L, PURSLOW PP. The effect of ageing on the water-holding capacity of pork: Role of cytoskeletal proteins [J]. Meat Sci, 2001, 58(1): 17-23.
- [8] LEBEDOVÁ N, STUPKA R, ČÍTEK J, *et al.* Muscle fibre types and their relation to meat quality traits in pigs [J]. Sci Agric Bohemica, 2019, 50(3): 164-170.
- [9] BRUCE HL, ROY BC. Meat science and muscle biology symposium:biological influencers of meat palatability: Production factors affecting the contribution of collagen to beef toughness [J]. J Anim Sci, 2019, 97(5): 2270-2278.
- [10] 郭谦, 沈清武, 罗洁. 畜禽宰后肌肉能量代谢与肉品质研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 357-361.
GUO Q, SHEN QW, LUO J. Research progress on muscle energy metabolism and meat quality of livestock and poultry after slaughter [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(9): 357-361.
- [11] 周光宏. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- ZHOU GH. Meat processing [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008.
- [12] WOJTYSIAK D, CALIK J, KRAWCZYK J, *et al.* Postmortem degradation of desmin and dystrophin in breast muscles from capons and cockerels [J]. Ann Anim Sci, 2019, 19(3): 835-846.
- [13] ZHANG J, YU Q, HAN L, *et al.* Effects of lysosomal iron involvement in the mechanism of mitochondrial apoptosis on postmortem muscle protein degradation [J]. Food Chem, 2020, 328: 127174.
- [14] ZHAO L, JIANG N, LI M, *et al.* Partial autolysis of μ /m-calpain during post mortem aging of chicken muscle: Autolysis of μ /m-calpain during aging [J]. Anim Sci J, 2016, 87(12): 1528-1535.
- [15] 黄明, 黄峰, 黄继超, 等. 内源性蛋白酶对宰后肌肉嫩化机制研究进展[J]. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3214-3222.
HUANG M, HUANG F, HUANG JC, *et al.* Research progress of endogenous protease on the tenderization mechanism of post-mortem muscle [J]. China Agric Sci, 2011, 44(15): 3214-3222.
- [16] 操时树. 肉品在宰后过程中的变化[J]. 肉类工业, 2001, (12): 40-42.
CAO SS. The changes of meat products during the post-slaughter process [J]. Meat Ind, 2001, (12): 40-42.
- [17] CARVALHO LM, VENTANAS S, OLEGARIO LS, *et al.* Consumers awareness of white-stripping as a chicken breast myopathy affects their purchasing decision and emotional responses [J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 131: 109809.
- [18] MOTTRAM DS. Flavour formation in meat and meat products: A review [J]. Food Chem, 1998, 62(4): 415-424.
- [19] ZHOU R, GRANT J, GOLDBERG EM, *et al.* Investigation of low molecular weight peptides (<1 kDa) in chicken meat and their contribution to meat flavor formation: Small peptides in meat flavor formation [J]. J Sci Food Agric, 2019, 99(4): 1728-1739.
- [20] 肖智超, 葛长荣, 周光宏, 等. 肉的风味物质及其检测技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 325-330.
XIAO ZC, GE CR, ZHOU GH, *et al.* Research progress of meat flavor substances and their detection technology [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(4): 325-330.
- [21] LIU Y, XU X, ZHOU G. Changes in taste compounds of duck during processing [J]. Food Chem, 2007, 102(1): 22-26.
- [22] 程天赋, 俞龙浩. 宰后糖酵解对肉品质影响的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(15): 219-224.
CHENG TF, YU LH. Research progress on the effects of post-mortem glycolysis on meat quality [J]. Food Res Dev, 2017, 38(15): 219-224.
- [23] 李诚, 沈晓玲, 陈代文. 宰后肉成熟过程中的风味变化[J]. 食品科技, 2008, 33(2): 52-56.
LI C, SHEN XL, CHEN DW. Flavor changes during meat maturation after slaughter [J]. Food Sci Technol, 2008, 33(2): 52-56.
- [24] LU C, HAO Z, PAYNE RK, *et al.* Peptides as flavor precursors in Maillard reaction [J]. Abstr Pap Am Chem Soc, 2005, 230: U67-U67.
- [25] 王述柏. 鸡肉肌苷酸沉积规律及营养调控研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2004.
WANG SB. Study on the deposition of inosinic acid and nutrition regulation in chicken [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2004.
- [26] 陶正清. 盐水鸭加工过程中滋味变化及呈味肽分离鉴定的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
TAO ZQ. Study on the change of taste compounds during the process and the isolation and identification of flavour peptides in water boiled salted duck [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [27] CASTEJÓN D, GARCÍA-SEGURA JM, ESCUDERO R, *et al.*

- Metabolomics of meat exudate: Its potential to evaluate beef meat conservation and aging [J]. *Anal Chim Acta*, 2015, 901: 1–11.
- [28] JAYASENA DD, AHN DU, NAM KC, *et al.* Flavour chemistry of chicken meat: A review [J]. *Asian Austral J Anim Sci*, 2013, 26(5): 732–742.
- [29] KHAN MI, JO C, TARIQ MR. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors-A systematic review [J]. *Meat Sci*, 2015, 110: 278–284.
- [30] VAN BAH, AMNA T, HWANG I. Significant influence of particular unsaturated fatty acids and pH on the volatile compounds in meat-like model systems [J]. *Meat Sci*, 2013, 94(4): 480–488.
- [31] 李文娟. 鸡肉品质相关脂肪代谢功能基因的筛选及营养调控研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- LI WJ. Screening of fat metabolism functional genes related to chicken quality and research on nutritional regulation [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.
- [32] NEWTON AE, FAIRBANKS AJ, GOLDING M, *et al.* The role of the Maillard reaction in the formation of flavour compounds in dairy products-not only a deleterious reaction but also a rich source of flavour compounds [J]. *Food Funct*, 2012, 3(12): 1231.
- [33] CHEN X, ZOU Y, WANG D, *et al.* Effects of ultrasound pretreatment on the extent of Maillard reaction and the structure, taste and volatile compounds of chicken liver protein [J]. *Food Chem*, 2020, 331: 127369.
- [34] 蔡宇. 鸡汤中关键香气物质的鉴定及其鸡肉香精的制备[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- CAI Y. Identification of key aroma substances in chicken soup and preparation of chicken flavor [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.
- [35] SONG S, TANG Q, HAYAT K, *et al.* Effect of enzymatic hydrolysis with subsequent mild thermal oxidation of tallow on precursor formation and sensory profiles of beef flavours assessed by partial least squares regression [J]. *Meat Sci*, 2014, 96(3): 1191–1200.
- [36] LIU XD, JAYASENA DD, JUNG Y, *et al.* Differential proteome analysis of breast and thigh muscles between korean native chickens and commercial broilers [J]. *Asian Austral J Anim Sci*, 2012, 25(6): 895–902.
- [37] WILLIAMSON J, RYLAND D, SUH M, *et al.* The effect of chilled conditioning at 4 °C on selected water and lipid-soluble flavor precursors in Bison bison longissimus dorsi muscle and their impact on sensory characteristics [J]. *Meat Sci*, 2014, 96(1): 136–146.
- [38] PACHECO-AGUILAR R, LUGO-SANCHEZ ME, ROBLES-BUR GUENO MR. Postmortem biochemical and functional characteristic of Monterey sardine muscle stored at 0 degrees C [J]. *J Food Sci*, 2000, 65(1): 40–47.
- [39] 徐昶, 朱虹, 李春保, 等. 环境温度对鸡肉宰后僵直过程中ATP降解的影响[J]. *江苏农业科学*, 2010, (1): 257–259.
- XU C, ZHU H, LI CB, *et al.* The effect of environmental temperature on ATP degradation during chicken post-mortem stiffness [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2010, (1): 257–259.
- [40] 叶藻, 谢晶, 邱伟强, 等. 常温与冷藏条件下不同阶段鸡肉呈味核苷酸及游离氨基酸含量的变化[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(24): 301–305.
- YE Z, XIE J, QIU WQ, *et al.* Changes of flavor nucleotide and free amino acid content in chicken at different stages under normal temperature and cold storage conditions [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2015, 36(24): 301–305.
- [41] 王虎虎, 邵良婷, 秦岳, 等. 热鲜与冷鲜黄羽鸡肉中风味前体物比较[J]. *核农学报*, 2020, 34(4): 824–830.
- WANG HH, SHAO LT, QIN Y, *et al.* Comparison of flavor precursors in hot and cold yellow feather chicken [J]. *J Nucl Agric*, 2020, 34(4): 824–830.
- [42] 陈静茹, 王梁, 吕学泽, 等. 北京油鸡肉 4 °C 贮藏过程中的品质及风味变化[J]. *肉类研究*, 2018, 32(8): 1–6.
- CHEN JR, WANG L, LV XZ, *et al.* Quality and flavor changes of Beijing oil chicken during storage at 4 °C [J]. *Meat Res*, 2018, 32(8): 1–6.
- [43] SUN S, ZHAO J, LUO Z, *et al.* Systematic evaluation of the physicochemical properties and the volatile flavors of yak meat during chilled and controlled freezing-point storage [J]. *J Food Sci Technol*, 2020, 57(4): 1351–1361.
- [44] POMPONIO L, RUIZ-CARRASCAL J. Oxidative deterioration of pork during superchilling storage [J]. *J Sci Food Agric*, 2017, 97(15): 5211–5215.
- [45] 孙晶, 康怀彬. 食品冰温贮藏技术的研究进展[J]. *农产品加工*, 2019, (22): 82–86.
- SUN J, KANG HB. Research progress on ice-temperature storage technology of food [J]. *Farm Prod Process*, 2019, (22): 82–86.
- [46] 葛庆联, 唐修君, 樊艳凤, 等. 冰温贮藏对黄羽肉鸡肌肉感官品质和游离氨基酸变化的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(21): 7220–7224.
- GE QL, TANG XJ, FAN YF, *et al.* Effect of ice storage on sensory quality and free amino acid changes of yellow feather broilers [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(21): 7220–7224.
- [47] 王正荣, 赵圣明, 李亚, 等. 冰温对鸡胸肉成熟过程中品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(24): 298–301, 308.
- WANG ZR, ZHAO SM, LI Y, *et al.* The effect of ice temperature on the quality of chicken breast during maturation [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(24): 298–301, 308.
- [48] 朱燕, 罗欣, 王海燕. 加速胴体成熟的技术[J]. *肉类研究*, 2000, (4): 14–17.
- ZHU Y, LUO X, WANG HY. Technology to accelerate carcass maturation [J]. *Meat Res*, 2000, (4): 14–17.
- [49] 胡鹏, 王守经, 杜方岭. 冷却方式和电刺激对牛肉品质的影响[J]. *中国食物与营养*, 2010, (6): 20–23.
- HU P, WANG SJ, DU FL. The effect of cooling methods and electrical stimulation on beef quality [J]. *China Food Nutr*, 2010, (6): 20–23.
- [50] 黄继超. 电击晕对宰后鸡肉品质的影响及相关机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- HUANG JC. The effect of electric stunning on the quality of chicken meat after slaughter and its related mechanism [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



徐娜, 硕士, 主要研究方向为畜产品加工。

E-mail: 2018108059@njau.edu.cn



徐幸莲, 博士, 教授, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制。

E-mail: xlxu@njau.edu.cn