

鸡肉风味物质的影响因素及其营养调控研究进展

邢通 王成赞 张林 高峰*

(南京农业大学动物科技学院,江苏省动物源食品生产与安全保障重点实验室,江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心,南京 210095)

摘要: 风味是衡量肉品质特性的重要指标。鸡肉风味是由于风味前体物质经热诱导发生一系列复杂的化学反应,形成了挥发性气味物质和非挥发性滋味物质。本文综述了鸡肉中的主要风味物质、风味前体物质转化成风味物质的主要途径、影响鸡肉风味的主要因素以及风味前体物质形成的营养调控技术,为提升鸡肉风味提供参考和借鉴。

关键词: 风味;鸡肉;前体物质;营养调控

中图分类号: S852.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)06-3028-08

随着人民生活水平的提高和对健康的重视,我国居民饮食消费观念也发生了转变,对肉类产品的营养价值、品质特性和健康保健等方面有了更高的要求。肉的风味和质构、营养、安全性等一起成为决定其品质特性的重要指标。肉的风味物质主要是由肉中的脂肪酸和水溶性化合物经热诱导后形成的挥发性气味物质和非挥发性滋味物质,直接影响肉的食用口感及消费的选择。鸡肉以其高蛋白质、低脂肪特性以及较低的价格,深受消费者青睐。但是,现代肉鸡养殖业对生长速度和胴体产出的单向追求使得鸡肉品质尤其是风味特性难以满足消费需求。鸡肉风味受到品种、性别、日龄、营养、环境、屠宰方式、宰后贮藏以及加工方式等诸多因素的影响,风味调控是一项复杂的工程,而营养调控则是这项工程的基础环节之一。本文概述了鸡肉中的主要风味物质及其形成路径,分析了影响鸡肉风味形成的主要因素,并对现有关于鸡肉风味营养调控手段的研究进行了综述,为推进鸡肉风味的科学研究和利用营养调控手段提高鸡肉风味的生产应用提供参考和借鉴。

1 鸡肉中的主要风味物质

生肉一般只有血腥味、咸味和金属味,而不具有肉的“特征香味”。肉的风味是由前体物质经热诱导形成的挥发性气味物质和非挥发性滋味物质组成,这些物质具有微量性、多样性和复杂性等特点,对肉的特征风味形成起到决定作用^[1]。

肉的挥发性气味物质主要是由蛋白质、脂质、碳水化合物等形成的挥发性香味前体物质经过美拉德反应、脂类及硫胺素的热降解以及脂质-美拉德反应之间的互作等一系列复杂化学反应而产生。现已发现,禽肉中的挥发性化合物种类约有500种,主要包括醇类、醛类、酮类、噻吩呋喃及其衍生物和含硫、氮类化合物等^[1-2]。决定鸡肉及其制品的挥发性特征的风味物质主要是醛、内酯、含硫直链化合物以及杂环化合物等^[3]。

非挥发性滋味物质是具有滋味或触觉的水溶性物质,主要包括有机酸、糖、游离氨基酸、核苷酸等水溶性小分子物质和盐类。当它们溶于唾液,与舌头上的受体蛋白结合时,可诱导产生酸、甜、苦、咸、鲜等呈味应答^[4]。游离氨基酸及其钠盐大

收稿日期:2020-11-26

基金项目:国家重点研发计划课题(2018YFD0500405);国家自然科学基金项目(32072780);江苏现代农业产业技术体系建设专项(JATS[2020]407)

作者简介:邢通(1990—),男,江苏徐州人,讲师,博士,主要从事动物营养与畜产品品质研究。E-mail: xingtong@njau.edu.cn

*通信作者:高峰,教授,博士生导师,E-mail: gaofeng0629@sina.com

部分具有呈味作用,如谷氨酸和天冬氨酸主要呈鲜味,*D*-疏水性氨基酸主要呈甜味,而大多数*L*型氨基酸主要呈苦味^[5]。肌苷酸(IMP)、鸟苷酸和腺苷酸等核苷酸也是肉中重要的滋味物质;此外,呈味核苷酸也是重要的风味增强剂^[6]。

2 鸡肉中风味物质的产生途径

2.1 挥发性风味物质的产生途径

2.1.1 脂质氧化降解

肉在加工过程中,脂质的热降解会产生醇、醛、酮、呋喃、酯、烃以及杂环化合物等大量的挥发性风味物质^[5],这些物质是构成肉类特征香气的主要来源和不同肉类风味差异的主要原因。脂质氧化反应的原理是脂质中的脂酰链氧化生成过氧化物中间体,进一步自动氧化失去羟基生成烷氧基,形成醛和烷基残基等^[7]。脂质的氧化主要是脂肪酸组分的氧化,脂肪酸的饱和程度是影响脂质热降解反应的重要因素,多不饱和脂肪酸(PUFA)更容易发生热降解反应,产生脂肪族化合物。与猪肉和牛肉相比,鸡肉中不饱和脂肪酸(UFA)的含量相对较高,因而更容易发生氧化降解^[8]。通过脂质降解在鸡肉中产生的挥发性化合物有数百种之多,对鸡肉风味的形成起到重要作用。例如,鸡肉脂肪氧化产生的烯醛和二烯醛是重要的特征性风味化合物,它们进一步降解可以形成醇类和呋喃^[9]。

2.1.2 美拉德反应

羰基化合物(还原糖)与氨基化合物(氨基酸和蛋白质)之间发生的美拉德反应是肉在煮制过程中发生的主要化学反应之一。美拉德反应非常复杂,会产生超过2 500种化合物^[10]。美拉德反应通常可以分为初期、中期和末期3个阶段:1)糖在高温下直接降解,如焦糖化反应生成呋喃、吡喃酮、烯醇酮类等挥发性物质;2)氨基酸与还原糖发生缩合反应,生成席夫碱,重排后形成Amadori或Heyns重组产物,如糠醛、呋喃酮衍生物、羟基酮和二羰基化合物等;3)随后这些重组产物发生环化,形成氮杂环化合物,如吡咯和吡啶;或经烯醇化脱氢形成重组糖或还原酮,如1-脱氢-2,3-二酮和3-脱氢-1,2-二酮;重组糖进一步环化为含氧杂环化合物,如呋喃和糠醛;或降解为丙酮醛、丁二酮等;羰基化合物缩合后也可形成呋喃;二羰基化合物还能与氨基酸直接经Strecker反应形成中间体;

进一步生成醛类或缩合形成吡嗪类;中间阶段产物与氨基化合物经过进一步反应,最终形成类黑精^[11]。美拉德反应产生的挥发性化合物可以分为含氮杂环化合物(如吡咯和吡嗪类)、含氧杂环化合物(呋喃类)、羰基化合物、Strecker醛和含硫杂环化合物等。鸡肉在烹饪加工过程中,添加少量核糖能显著增加2-呋喃甲硫醇、2-甲基-3-巯基呋喃和3-甲硫基丙醛的生成量,增强“烤鸡味”香气^[12]。甲硫基丙醛和2,3-甲基丁醛分别来源于甲硫氨酸和亮氨酸参与的Strecker降解,是水煮鸡中重要的风味物质。此外,半胱氨酸发生Strecker降解形成的硫化氢,是烤肉中重要芳香物质2-糠基硫醇的前体物;同时,它也参与形成水煮肉中最重要的芳香物质成分2-甲基-3-呋喃硫醇^[13]。

2.1.3 硫胺素降解

硫胺素即维生素B₁,是维持机体葡萄糖代谢的重要物质。同时,它也是肉中重要的风味前体物质,热降解后主要形成硫化氢、硫醇、噻吩、呋喃、双环和脂环等多种具有香气的含硫化合物,对肉的风味产生起着至关重要的作用^[5]。硫胺素热降解的初级产物4-甲基-5-(2-羟基乙基)噻唑和中间产物5-羟基-3-巯基-2-戊酮可反应生成噻唑、呋喃、噻吩和许多其他的含硫化合物,并进一步与呋喃酮等杂环化合物反应生成含硫杂环化合物^[14],赋予肉更加浓厚的香味。

2.1.4 氨基酸热降解

作为肉中重要的水溶性前体物质,氨基酸受热时会脱氨基或者脱酰胺基,形成高活性氨,进一步与羰基发生美拉德反应,产生噻唑、噻吩及含硫化合物,对风味化合物的形成起到一定的作用^[15]。例如,半胱氨酸、胱氨酸加热会形成噻唑、噻吩及其衍生物,丝氨酸和苏氨酸则是形成吡嗪的特征性氨基酸。

2.2 滋味物质的产生途径

畜禽肉中游离氨基酸大部分具有呈味作用,而这些游离氨基酸主要来源于饲料摄入和蛋白质降解。蛋白质可在组织蛋白酶和钙蛋白酶作用下水解形成多聚肽,进一步在肽酶和氨基肽酶作用下经由小肽最终形成游离氨基酸^[16]。游离氨基酸及其盐类主要呈现苦、甜和鲜味。

核苷酸由嘌呤或嘧啶碱基、核糖或脱氧核糖以及磷酸组成,是肉中重要的滋味物质。畜禽体内核苷酸主要由核糖磷酸、氨基酸、二氧化碳

(CO₂)和氨气(NH₃)等原料经从头合成途径形成,也可由游离碱基或核苷经补救合成途径形成。如上所述,IMP是鸡肉中最主要的呈鲜味物质,机体内IMP主要来源于三磷酸腺苷(ATP)降解;此外,IMP还可与鸟苷酸协同作用增强鲜味^[6]。ATP降解的最终产物是次黄嘌呤,它本身具有一定的苦味,但在腌腊肉制品中可以增强滋味强度^[17]。

在加工过程中,畜禽肉中的矿物盐类离子也是重要的滋味呈味物质。例如,钠离子、钾离子和氯离子是主要的呈咸味离子^[18];在牛肉炖煮过程中,减少镁离子和钙离子会显著降低肉汤的咸味,而减少磷酸盐则会显著增加苦味,并降低鲜味和酸味^[19]。此外,氯化钠可与谷氨酸钠、天冬氨酸和IMP等协同作用,增强肉的鲜味特性。

3 影响鸡肉风味的非营养因素

鸡肉风味受到多种因素的影响,包括遗传背景(品种、日龄和性别)、饲料、饲养管理以及宰后成熟、贮藏和加工方式等,这些因素对风味前体物质的组成和含量,以及加工过程中风味的最终形成都有着不同程度的影响。本节简要概述遗传因素、饲养管理以及屠宰加工这3大非营养因素对鸡肉风味的影响。

3.1 遗传因素

品种、日龄和性别等遗传因素对鸡肉风味有显著影响。相比于选育程度较高的快大型商品肉鸡,选育程度较低的地方鸡肉质鲜美、香味更佳,这主要与鸡肉中呈味氨基酸、核苷酸、还原糖以及UFA等风味前体物质的含量和组成差异有关^[20]。日龄对优质地方鸡种的胴体品质、风味特性和口感等方面均有一定的影响,比如武定鸡、盐津乌骨鸡以及大围山微型鸡肌肉中水溶性化合物含量随日龄的延长而增多,而脂肪酸含量在不同饲养阶段也表现出显著差异^[21]。青脚麻母鸡炖煮后,汤中的挥发性物质种类多于公鸡,且含量高近30%^[22]。此外,研究发现阉割和切除卵巢处理可改善北京油鸡的肉质特性,增加肌内脂肪(IMF)沉积;且切除卵巢能显著增加鸡肉IMP含量,提高风味^[23]。

3.2 饲养管理

当前鸡的饲养主要有笼养、平养和散养等几种方式。不同的饲养方式,决定了鸡群不同的运动量和活动范围。不同饲养方式下鸡肉中脂肪

酸、氨基酸、IMP和硫胺素等风味前体物质含量也不相同,进而对风味的形成有着重要影响。相比于笼养,半舍饲饲养方式能提高北京油鸡肌肉中脂肪酸和IMP含量,对挥发性风味物质的组成也有所影响,更利于改善鸡肉风味^[24]。除饲养方式外,饲养环境的改变也会对鸡肉风味物质产生影响。卢庆萍等^[25]发现,爱拔益加肉鸡在34℃环境温度下饲养3周后,胸肌中IMP含量降低,IMF含量升高;而在相同的温度条件下,北京油鸡IMF和IMP含量均无显著变化。也有研究发现,鸡在低饲养密度条件下,其腿肌的香味更浓^[26]。通过科学调控饲养方式、饲养环境条件以及饲养密度可在一定程度上改善鸡肉风味。

3.3 屠宰加工

宰前管理、宰杀方式、宰后成熟以及贮藏方式等屠宰加工过程与肉品风味的形成紧密相关。宰前管理环节处理不当或不规范宰杀,引发鸡的剧烈应激、沥血不充分和胴体损伤等都会影响鸡肉品质,导致风味下降^[27]。宰后肉成熟过程会形成糖、有机酸、游离氨基酸以及核苷酸代谢产物等很多丰富的风味前体物质,赋予肉特殊风味^[28]。宰后贮藏方式也可能对鸡肉风味产生影响,如冷鲜雪山黄羽肉鸡肌肉中某些风味前体物质如肌苷和次黄嘌呤含量显著高于热鲜鸡,天冬氨酸和谷氨酸等呈味氨基酸含量也有一定差异^[29]。不同的加工方式处理,如烧烤、蒸煮和烟熏等,直接决定着鸡肉的主体风味。烤制、油炸等热加工处理有助于鸡肉中大量吡嗪、吡啶、吡咯和噻唑杂环化合物的形成,而炖煮则不会形成上述化合物^[2]。此外,相同加工方式下,不同处理工序也可能影响鸡肉风味,比如赵电波等^[30]研究发现,与传统炒制相比,智能炒制大盘鸡中鉴定出的香味物质组分较多,且短链醛类、酮类、不饱和杂环类等化合物种类和含量均较高,更能保持大盘鸡的风味。

4 鸡肉风味的营养调控手段

饲料的营养成分以及生物活性组分是影响肉品质的重要因素。畜禽肉中风味前体物质的组成和含量受到饲料的直接影响。近年来,研究发现,饲料营养水平、饲料原料类型以及饲料中维生素、矿物质和功能性饲料添加剂等都会对鸡肉风味的形成产生一定影响。因而,提升肉品风味的各种饲料配方和功能性添加剂,逐渐成为动物营养与

饲料科学领域的研究热点。

4.1 饲料营养水平

能量和蛋白质水平作为构成饲料的基本因素,对畜禽的生长性能和屠宰性能有重要影响,同时也会对鸡肉中风味前体物质产生显著影响。杨焯等^[31]以河田鸡为研究对象,发现当鸡采食高能饲料时,其胸肌中饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)含量显著升高,而IMF、PUFA和IMP含量显著降低;当采食高蛋白饲料时,PUFA含量显著增加,而IMF、SFA和MUFA含量显著下降;感官评价表明低营养水平组的总体可接受性高于高营养水平组。王剑锋等^[32]报道认为,随着饲料中蛋白质和能量水平的升高,京海黄鸡肌肉中IMP含量显著升高,而IMF含量呈现降低趋势。可见,饲料中蛋白质和能量水平的变化对鸡肉中滋味物质含量的影响因品种而异,降低饲料营养水平可能更利于鸡肉中IMF的沉积。

4.2 饲料原料组成

饲料中碳水化合物、蛋白质类型、脂肪酸组成以及青绿饲料等对鸡肉中风味前体物质的形成有着重要影响。玉米不仅是重要的能量饲料,同时对鸡肉风味也有一定的影响。Lyon等^[33]研究发现,饲喂玉米饲料的肉鸡胸肉煮制后,其肉汤评分显著高于小麦或高粱饲料。商品肉鸡饲料中蛋白质类型的改变也会影响鸡肉风味,如过高比例的菜籽饼、鱼粉和蚕蛹粉会造成鸡肉异味^[1]。饲料中油脂的脂肪酸组成直接影响风味前体物质的形成。饲料中添加含有不同种类和比例的脂肪酸油脂会改变广西黄鸡胸肌和腿肌中的脂肪酸组成,该变化与饲料油脂中的脂肪酸组成相对应,即在饲料中适当添加富含PUFA的油脂有助于提高鸡肉中富含特定长链的UFA含量^[34];饲料中添加1%~2%共轭亚油酸会改变鸡肉中脂肪酸组成,降低MUFA含量,并且能有效提高氧化稳定性,改善风味特性^[35]。北京油鸡饲料中适当拌入碎细的优质牧草如菊苣草等,鸡肉中IMP和呈味氨基酸含量均表现出增加趋势,风味特性更佳^[36]。此外,饲料中维生素的添加可通过减少脂肪氧化,降低鸡肉的异味^[37]。

4.3 饲料添加剂

4.3.1 影响游离氨基酸含量的添加剂

饲料中添加甜菜碱可提高肉鸡肌肉中天冬氨酸和谷氨酸等代表性风味氨基酸的含量,这可能

与甜菜碱作为甲基供体,能促进RNA合成和含硫氨基酸代谢有关;此外,甜菜碱还能增加鸡肉IMF含量,并改善脂肪酸的组成,从而提升鸡肉风味品质^[38]。中草药添加剂中含有多种营养成分和生物活性物质,可以促进动物生长,提高免疫性能,改善畜产品品质,而且对风味化合物的形成有促进作用。饲料中添加复方中草药(由大蒜、紫苏、小茴香、肉桂、牛膝、黄芪和当归配成)可显著提高鸡肉中呈鲜味氨基酸含量^[39]。刘彦慈^[40]选用小茴香、肉桂等具有芳香气味的复方中草药添加剂,研究其对鸡肉风味的影响,发现添加1.5%复方中草药的肉仔鸡肌肉中蛋白质含量显著提高6.49%,且复方中草药组肌肉中谷氨酸、丙氨酸和甘氨酸等呈味氨基酸含量均显著升高;此外,1.0%的复方中草药添加剂可将鸡肉中IMP含量提高28.23%。

4.3.2 影响IMP含量的添加剂

作为鸡肉中的主要呈鲜味物质,畜禽体内IMP的沉积受到多种添加剂的调控。肉鸡饲料中添加0.3%外源嘌呤核苷酸可将鸡肉中IMP含量提高40%以上,这可能与机体内游离嘌呤或嘌呤核苷酸增多,加强核苷酸的补救合成有关^[41]。肉碱作为类维生素营养物质,被广泛用于饲料添加剂,占秀安等^[42]研究发现,饲料中添加50和75 mg/kg的L-肉碱可显著提高49日龄肉鸡肌肉中IMP含量。甜菜碱可经由肝脏产生大量肌酸和肉碱,促进肌肉中脂肪酸 β -氧化反应,生成ATP,最终形成大量的IMP,由此提高肉的风味^[43]。益生菌不仅能改善畜禽生长性能,还能提升肉品质,改善风味特性。饲料中添加 1×10^5 或 1×10^6 CFU/g约氏乳杆菌(*Lactobacillus johnsonii*) BS15能显著提高科宝肉鸡肌肉中IMP含量^[44]。植物多酚提取物作为饲料添加剂,可以防止饲料中的脂肪氧化,对鸡肉中IMP含量的提高有一定的作用^[45]。

4.3.3 影响IMF沉积和脂肪酸组成的添加剂

IMF和脂肪酸组成是决定鸡肉中挥发性风味前体物质的关键因素,与其香味的形成密切相关。现代白羽肉鸡肌肉中IMF含量很低,通过添加外源活性物质提高IMF含量对提升鸡肉风味具有重要意义。饲料中添加0.10%的沙棘黄酮可以将鸡肉中IMF含量显著提高23.42%,同时可在一定程度上提高UFA与SFA的比例^[46]。饲料添加戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)发酵产物可显著

增加青脚麻鸡胸肌中特征性风味物质的丰度,并提高 C6~C9 UFA 含量,改善鸡肉风味^[47]。使用富含 n-3 PUFA 的油脂如亚麻籽油、芥末油和鱼油等替代葵花籽油,能在不影响鸡生长性能和屠宰性能的前提下,显著增加鸡肉中 n-3 PUFA 的沉积,降低 n-6 PUFA/n-3 PUFA,进而提高鸡肉风味^[48]。

5 小 结

风味是影响肉类食用口感和消费选择的重要因素,风味前体物质的形成和风味物质的产生伴随着一系列复杂的生化反应过程。目前,针对鸡肉风味的研究还相对不足,仍然存在鸡肉特征风味成分不明确、来源和生成路径不清晰等问题;后续研究应进一步完善鸡肉风味物质图谱分析,揭示风味前体物质转化成风味化合物的机制。近年来,关于鸡肉风味的营养调控技术研究逐渐增加,但主要局限于单一营养因素的改变或饲料添加剂的使用对鸡肉风味总体变化的初步表征阶段。因此,后续研究可通过适当调整肉鸡生长不同阶段的饲料营养水平和饲料原料组成,合理筛选功能性饲料添加剂种类、剂量和组合等,拓展提升鸡肉风味的营养干预技术;在此基础上,解析各种方案干涉对风味前体物质形成的调控机制,挖掘相关代谢途径中关键调控因子的功能及作用路径,以期建立定向调控风味前体物质的应用技术,为生产优质风味鸡肉产品提供理论依据和新的参考。

参考文献:

[1] 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 X Y, GOU Z Y, JIANG S Q, et al. Research advance of formation mechanism of chicken meat flavor and regulation[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(2): 500-508. (in Chinese)

[2] REGUEIRO J, NEGREIRA N, SIMAL-GÁNDARA J. Challenges in relating concentrations of aromas and tastes with flavor features of foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(10): 2112-2127.

[3] MACLEOD G, SEYYEDAIN-ARDEBILI M, CHANG S S. Natural and simulated meat flavors (with particular reference to beef)[J]. Critical Re-

views in Food Science and Nutrition, 1981, 14(4): 309-437.

[4] SIMON S A, DE ARAUJO I E, GUTIERREZ R, et al. The neural mechanisms of gustation: a distributed processing code[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2006, 7(11): 890-901.

[5] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.

[6] KAWAI M, OKIYAMA A, UEDA Y. Taste enhancements between various amino acids and IMP[J]. Chemical Senses, 2002, 27(8): 739-745.

[7] 柯海瑞,康怀彬,蔡超奇.脂肪氧化对肉品风味影响的研究进展[J].肉类工业,2019(10):52-58.
KE H R, KANG H B, CAI C Q. Research advance on the effect of lipid oxidation on meat flavor[J]. Meat Industry, 2019(10): 52-58. (in Chinese)

[8] VAN BA H, AMNA T, HWANG I. Significant influence of particular unsaturated fatty acids and pH on the volatile compounds in meat-like model systems[J]. Meat Science, 2013, 94(4): 480-488.

[9] JAYASENA D D, AHN D U, NAM K C, et al. Factors affecting cooked chicken meat flavour: a review[J]. World's Poultry Science Journal, 2013, 69(3): 515-526.

[10] VAN BOEKEL M A J S. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction[J]. Biotechnology Advances, 2006, 24(2): 230-233.

[11] HENNING C, MARCUS A G. Pathways of the Maillard reaction under physiological conditions[J]. Glycoconjugate Journal, 33(4): 499-512.

[12] ALIANI M, FARMER L J. Precursors of chicken flavor. II. Identification of key flavor precursors using sensory methods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(16): 6455-6462.

[13] ESTÉVEZ M, VENTANAS S, HEINONEN M. Formation of Strecker aldehydes between protein carbonyls- α -amino adipic and γ -glutamic semialdehydes and leucine and isoleucine[J]. Food Chemistry, 2011, 128(4): 1051-1057.

[14] JAYASENA D D, AHN D U, NAM K C, et al. Flavour chemistry of chicken meat: a review[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2013, 26(5): 732-742.

[15] SOHN M, HO C T. Ammonia generation during thermal degradation of amino acids[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(12): 3001-3003.

- [16] TOLDRÁ F. The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2006, 17(4): 164–168.
- [17] ICHIMURA S, NAKAMURA Y, YOSHIDA Y, et al. Hypoxanthine enhances the cured meat taste [J]. *Animal Science Journal*, 2017, 88(2): 379–385.
- [18] QI J, LIU D Y, ZHOU G H, et al. Characteristic flavor of traditional soup made by stewing Chinese yellow-feather chickens [J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(9): 2031–2040.
- [19] SCHLICHOTHERLE-CERNY H, GROSCH W. Evaluation of taste compounds of stewed beef juice [J]. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 1998, 207(5): 369–376.
- [20] 杨娟娟, 韩雨轩, 王海亮, 等. 不同品种鸡肌肉营养价值及风味的影响 [J]. *中国家禽*, 2018, 40(2): 9–14.
YANG X J, HAN Y X, WANG H L, et al. Study on the nutritional value and flavor of chicken muscle of different breeds [J]. *China Poultry*, 2018, 40(2): 9–14. (in Chinese)
- [21] XIAO Z C, GE C R, ZHOU G H, et al. ¹H NMR-based metabolic characterization of Chinese *Wuding* chicken meat [J]. *Food Chemistry*, 2019, 274: 574–582.
- [22] 张艳, 夏杨毅, 何翠, 等. 基于肉鸡性别的鸡汤挥发性物质主成分分析 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(7): 23–28.
ZHANG Y, XIA Y Y, HE C, et al. Principal component analysis of volatile substances in chicken soup based on the gender of broiler [J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(7): 23–28. (in Chinese)
- [23] CUI X, LIU R, CUI H, et al. Effects of caponization and ovariectomy on objective indices related to meat quality in chickens [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(3): 770–777.
- [24] 孙月娇, 田河山, 赵桂苹, 等. 不同饲养方式对北京油鸡肌肉风味物质的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2014, 41(9): 89–94.
SUN Y J, TIAN H S, ZHAO G P, et al. Effect of different housing systems on meat flavor compounds of *Beijing-You* chicken [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2014, 41(9): 89–94. (in Chinese)
- [25] 卢庆萍, 文杰, 张宏福, 等. 长期高温对商品肉鸡和地方品种鸡肉质及风味的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2009, 40(2): 203–207.
LU Q P, WEN J, ZHANG H F, et al. Effects of high ambient temperature on meat quality and flavor in commercial and local broilers [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2009, 40(2): 203–207. (in Chinese)
- [26] FARMER L J, PERRY G C, LEWIS P D, et al. Responses of two genotypes of chicken to the diets and stocking densities of conventional UK and *Label Rouge* production systems—II. Sensory attributes [J]. *Meat Science*, 1997, 47(1/2): 77–93.
- [27] PAN L, ZHAO P F, MA X K, et al. *Forsythia suspensa* extract protects broilers against breast muscle oxidative injury induced by corticosterone mimicked pre-slaughter acute stress [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(6): 2095–2105.
- [28] KHAN M I, JO C, TARIQ M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors—A systematic review [J]. *Meat Science*, 2015, 110: 278–284.
- [29] WANG H H, QIN Y, LI J H, et al. Edible quality of soft-boiled chicken processing with chilled carcass was better than that of hot-fresh carcass [J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(2): 797–804.
- [30] 赵电波, 栗俊广, 吴萌萌, 等. 不同炒制方式对大盘鸡品质的影响 [J]. *中国调味品*, 2018, 45(9): 116–121.
ZHAO D B, LI J G, WU M M, et al. Effect of different frying methods on the quality of saute spicy chicken [J]. *China Condiment*, 2018, 45(9): 116–121. (in Chinese)
- [31] 杨焯, 冯玉兰, 李忠荣, 等. 性别和营养水平对福建河田鸡风味前体物质含量的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2006, 37(3): 242–249.
YANG Y, FENG Y L, LI Z R, et al. Effect of sex and diet nutrition on the contents of flavor precursors in Fujian Hetian chicken [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2006, 37(3): 242–249. (in Chinese)
- [32] 王剑锋, 李爱华, 谢恺舟, 等. 不同日粮蛋能水平对京海黄鸡肌肉中肌苷酸和肌肉脂肪沉积规律的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(3): 803–805.
WANG J F, LI A H, XIE K Z, et al. Effects of different protein and energy levels of diet on the deposition laws of inosine monophosphate and intramuscular fat in the muscles of *Jinghai* yellow chicken [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(3): 803–805. (in Chinese)

- [33] LYON B G, SMITH D P, LYON C E, et al. Effects of diet and feed withdrawal on the sensory descriptive and instrumental profiles of broiler breast fillets [J]. *Poultry Science*, 2004, 83(2): 275-281.
- [34] 夏中生, 邹彩霞, 卢洁, 等. 饲喂不同油脂对黄羽肉鸡肌肉组织中脂肪酸组成的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2003, 35(7): 13-16.
XIA Z S, ZOU C X, LU J, et al. Effect of different oil sources on fatty acid composition of lipids in the muscles of yellow chicken [J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2003, 35(7): 13-16. (in Chinese)
- [35] KAWAHARA S, TAKENOYAMA S I, TAKUMA K, et al. Effects of dietary supplementation with conjugated linoleic acid on fatty acid composition and lipid oxidation in chicken breast meat [J]. *Animal Science Journal*, 2009, 80(4): 468-474.
- [36] ZHENG M L, MAO P C, TIAN X X, et al. Growth performance, carcass characteristics, meat and egg quality, and intestinal microbiota in *Beijing-you* chicken on diets with inclusion of fresh chicory forage [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2019, 18(1): 1310-1320.
- [37] KOLB E, SEEHAWER J. Significance and application of vitamin E in broilers and laying hens, especially during supplementation with fish oil [J]. *Berliner und Munchener Tierarztliche Wochenschrift*, 2002, 115(11/12): 458-464.
- [38] 张凯, 宋献艺. 甜菜碱的功能及其在动物生产中的应用 [J]. *饲料研究*, 2018, 6(2): 4-6.
ZHANG K, SONG X Y. Function of betaine and its application in animal production [J]. *Feed Research*, 2018, 6(2): 4-6. (in Chinese)
- [39] 锡建中, 赵超. 复方中草药对鸡肉风味化合物组成的影响 [J]. *中国家禽*, 2016, 38(2): 25-28.
XI J Z, ZHAO C. Effect of compound Chinese herbal medicine on flavor compounds of chicken muscle [J]. *China Poultry*, 2016, 38(2): 25-28. (in Chinese)
- [40] 刘彦慈. 中草药饲料添加剂对肉仔鸡生产性能及肉质风味的影响 [D]. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学, 2004: 15-21.
LIU Y C. Effect of Chinese herbal medicine feed additive on performance, meat quality and flavor by broilers [D]. Master's Thesis. Baoding: Hebei Agricultural University, 2004: 15-21. (in Chinese)
- [41] WANG X F, LIU G H, CAI H Y, et al. Attempts to increase inosinic acid in broiler meat by using feed additives [J]. *Poultry Science*, 2014, 93(11): 2802-2808.
- [42] 占秀安, 许梓荣, 毛红霞. L-肉碱对肉鸡生长性能、胴体组成和肉质的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2002, 14(4): 201-204.
ZHAN X A, XU Z R, MAO H X. Effects of L-carnitine on growth performance, carcass composition and meat quality in broilers [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2002, 14(4): 201-204. (in Chinese)
- [43] 杨红军, 汪鲲, 唐维新. 植物提取物添加剂对畜禽肉品风味的影响 [J]. *饲料工业*, 2007, 28(24): 8-10.
YANG H J, WANG K, TANG W X. Effects of plant extract additives on meat flavor of livestock [J]. *Feed Research*, 2007, 28(24): 8-10. (in Chinese)
- [44] LIU L, NI X Q, ZENG D, et al. Effect of a dietary probiotic, *Lactobacillus johnsonii* BS15, on growth performance, quality traits, antioxidant ability, and nutritional and flavour substances of chicken meat [J]. *Animal Production Science*, 2017, 57(5): 920-926.
- [45] LI W, ZHANG X Y, DU J, et al. RNA-seq-based quantitative transcriptome analysis of meat color and taste from chickens administered by eucalyptus leaf polyphenols extract [J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(4): 1319-1327.
- [46] MA J S, CHANG W H, LIU G H, et al. Effects of flavones of sea buckthorn fruits on growth performance, carcass quality, fat deposition and lipometabolism for broilers [J]. *Poultry Science*, 2015, 94(11): 2641-2649.
- [47] WANG Y, SUN J, ZHONG H, et al. Effect of probiotics on the meat flavour and gut microbiota of chicken [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 6400.
- [48] KALAKUNTLA S, NAGIREDDY N K, PANDA A K, et al. Effect of dietary incorporation of n-3 polyunsaturated fatty acids rich oil sources on fatty acid profile, keeping quality and sensory attributes of broiler chicken meat [J]. *Animal Nutrition*, 2017, 3(4): 386-391.

Research Advance of Factors Affecting Chicken Meat Flavor and Its Nutritional Regulation

XING Tong WANG Chengzan ZHANG Lin GAO Feng*

(*Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing Quality and Safety Control, Key Laboratory of Animal Origin Food Production and Safety Guarantee of Jiangsu Province, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract: Flavor is an important indicator of meat quality. Chicken meat flavor is composed of volatile flavor and non-volatile flavor formed through a series of complicated chemical reactions of flavor precursors induced by heating. This review summarized main flavor compounds in chicken meat, main pathways involved in the formation of conversion of meat flavor from precursors, predominating factors affecting chicken meat flavor, and nutritional strategies regulating the formation of precursors, which could provide theoretical basis and reference for the improvement of chicken meat flavor. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(6):3028-3035]

Key words: flavor; chicken meat; precursor; nutritional regulation